



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ARREFECIMENTO DE UM EDIFÍCIO ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO NO VERÃO

JOANA ISABEL FERNANDES MATOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha mãe

“O homem sonha a obra nasce”

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

A realização de uma dissertação requer muito empenho, dedicação, esforço e sacrifício. Desta forma, a conclusão deste trabalho deve-se ao apoio e contribuição de algumas pessoas a quem quero deixar aqui um especial agradecimento.

À orientadora Maria Helena Corvacho pelo acompanhamento, compreensão e disponibilidade no decorrer da elaboração desta dissertação.

À minha família pelo apoio e motivação, em especial à minha mãe por me proporcionar condições para a realização deste sonho.

Aos meus amigos pelos momentos de desconpressão durante esta caminhada.

Ao Cesário que esteve sempre ao meu lado em todos os momentos.

RESUMO

Na conceção de um edifício deve-se ter como principal objetivo a criação de ambientes interiores confortáveis para os seus utilizadores. Para se alcançar este efeito, é necessário conhecer bem o clima local e refletir sobre a implantação do edifício para se conseguir um bom desempenho do mesmo.

Com o objetivo de se combater o sobreaquecimento na estação de arrefecimento, surge a necessidade de se estudar a melhor estratégia de ventilação bem como os materiais utilizados na construção dos edifícios. Com uma análise prudente é possível minimizar os custos associados a sistemas de arrefecimento e reduzir o consumo de energia.

Realizou-se então um estudo paramétrico para diversos cenários com o auxílio de uma ferramenta de cálculo, o LESOCOOL. Escolheram-se como variáveis a inércia, forte ou fraca, o tamanho do envidraçado, a orientação, Norte, Sul, Este, Oeste e o dispositivo de proteção, interior ou exterior. Aliadas a estas variáveis, testaram-se estratégias de ventilação para se avaliar o consequente potencial de arrefecimento das mesmas.

Procedeu-se sobretudo à análise das temperaturas interiores atingidas no interior de determinado espaço, fazendo-se também uma breve abordagem à influência da temperatura média radiante no conforto dos ocupantes. Analisando os resultados obtidos tiraram-se conclusões de modo a potenciar o arrefecimento dos edifícios no verão.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto Térmico de Verão, Estratégia de Ventilação, Potencial de Arrefecimento, Inércia Térmica, Ganhos solares.

ABSTRACT

In the conception of a building the main goal must be the creation of comfortable indoor environments to their users. To achieve this effect, is necessary to know very well the local climate and reflect about the implantation of the building to get a good performance of itself.

With the target of fighting the overheating at the time of cooling season, come up the need of studying the better strategy of ventilation as well as the used materials in construction of buildings. With a cautious analysis it's possible minimize the costs associated to the cooling systems and reduce the energy consumption.

It was, then, made a parametric study to several scenarios with the help of a calculation tool, the LESOCOOL. Were chosen as variables the inertia, weak or strong, the size of the window, the orientation, North, South, East, West and the protection device, inside or outside. Allied to these variables, were tested ventilation strategies to evaluate their consequent potential of cooling.

It was carried out, above all, the analysis of inside temperatures reached within certain space, as well as a brief approach of the influence of mean radiant temperature on the comfort of the occupants. Analyzing the results were taken conclusions about how to boost the cooling in buildings during the summer.

KEYWORDS: Thermal Comfort in the summer, Ventilation Strategies, Cooling Potential, Thermal inertia, Solar Gains.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. FATORES QUE INFLUENCIAM O SOBREAQUECIMENTO	3
2.1. VENTILAÇÃO	3
2.2. OUTROS FATORES	4
2.2.1. INÉRCIA TÉRMICA	4
2.2.2. GANHOS SOLARES	5
2.2.2.1. Vãos Envidraçados	5
2.2.2.2. Radiação Solar	5
2.2.2.3. Dispositivos de Proteção	6
2.2.2.4. Fator Solar	7
2.3. POTENCIAL DE ARREFECIMENTO ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO.....	7
2.3.1. VENTILAÇÃO NATURAL.....	7
2.3.1.1. Efeito de Chaminé	7
2.3.1.2. Ação do Vento	8
2.3.2. VENTILAÇÃO NOTURNA	9
2.3.3. VENTILAÇÃO CRUZADA VS VENTILAÇÃO UNILATERAL.....	10
3. CONFORTO TÉRMICO	13
3.1. CONFORTO TÉRMICO	13
3.2. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	15
3.2.1. CONDUÇÃO	15
3.2.2. CONVECÇÃO	16
3.2.3. RADIAÇÃO	16
3.3. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	16

3.4. QUALIDADE DO AR INTERIOR	17
4. SIMULAÇÃO NUMÉRICA. ESTUDO PARAMÉTRICO	19
4.1. ÂMBITO.....	19
4.2. CARATERIZAÇÃO DO PROGRAMA	19
4.3. CENÁRIOS SIMULADOS	21
4.3.1. DESCRIÇÃO DO COMPARTIMENTO	21
4.3.2. CENÁRIOS A ESTUDAR.....	22
4.3.3. DADOS CLIMÁTICOS.....	23
4.4. ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO.....	24
4.5. ANÁLISE APROFUNDADA DOS RESULTADOS PARA OS CENÁRIOS SELECIONADOS	26
4.5.1. PORTO.....	26
4.5.1.1. Temperatura Interior.....	26
4.5.1.2. Graus-hora de Desconforto	32
4.5.2. ÉVORA.....	34
4.5.2.1. Temperatura Interior.....	34
4.5.2.2. Graus-hora de Desconforto	40
4.5.3. RELAÇÃO ÁREA DE ENVIDRAÇADO/ÁREA DE PAVIMENTO	43
4.5.4. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE	44
4.5.4.1. Inércia Fraca.....	44
4.5.4.2. Inércia Forte.....	44
4.5.5. EFICÁCIA DA VENTILAÇÃO NOTURNA	45
4.6. REFLEXÕES GERAIS	46
5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	49
5.1. CONCLUSÕES.....	49
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	51
BIBLIOGRAFIA	53
ANEXOS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Percurso do Sol ao longo do ano [5].....	6
Figura 2.2: Efeito das diferenças de temperatura [9]	8
Figura 2.3: Efeito da ação do vento [9]	9
Figura 2.4: Ventilação unilateral [8].....	10
Figura 2.5: Ventilação unilateral com recurso a palas verticais à esquerda e ventilação cruzada à direita [8].....	10
Figura 2.6: Ventilação cruzada [8].....	11
Figura 3.1: Balanço térmico do corpo humano [12]	15
Figura 3.2: Relação entre os índices PMV e PPD [12]	17

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Valor do parâmetro A [12]	14
Tabela 3.2: Escala de conforto térmico [11]	17
Tabela 4.1: Esquematização dos cenários simulados	21

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Comparação dos vários cenários no Porto na orientação Oeste.....	22
Gráfico 4.2: Comparação dos vários cenários em Évora na orientação Oeste.....	22
Gráfico 4.3: Comparação das temperaturas interiores entre um compartimento maior e um compartimento menor mantendo todas as outras variáveis iguais (cenário POINFR6).....	23
Gráfico 4.4: Temperaturas exteriores do Porto e Évora	24
Gráfico 4.5: Comparação das estratégias de ventilação adotadas num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção interior, Oeste, Porto	24
Gráfico 4.6: Comparação das estratégias de ventilação adotadas com inércia forte, envidraçado 1,8m ² , proteção exterior, Norte, Porto.....	25
Gráfico 4.7: Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	26
Gráfico 4.8: Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	27
Gráfico 4.9: Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	27
Gráfico 4.10: Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	28
Gráfico 4.11: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	28
Gráfico 4.12: Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	29
Gráfico 4.13: Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	29
Gráfico 4.14: Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	29
Gráfico 4.15: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	30
Gráfico 4.16: Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	31
Gráfico 4.17: Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	31
Gráfico 4.18: Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	31
Gráfico 4.19: Graus-horas desconforto no cenário INFR6	32
Gráfico 4.20: Graus-horas desconforto no cenário EXFR6	33
Gráfico 4.21: Graus-horas desconforto no cenário EXFO1	33
Gráfico 4.22: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção interior, Oeste.....	34
Gráfico 4.23: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção interior, Este	34
Gráfico 4.24: Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	35
Gráfico 4.25: Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	35
Gráfico 4.26: Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	36
Gráfico 4.27: Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	36
Gráfico 4.28: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	37
Gráfico 4.29: Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	37

Gráfico 4.30: Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	38
Gráfico 4.31: Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	38
Gráfico 4.32: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	39
Gráfico 4.33: Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	39
Gráfico 4.34: Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	39
Gráfico 4.35: Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	40
Gráfico 4.36: Graus-horas desconforto acumulado no cenário INFR6	41
Gráfico 4.37: Graus-horas desconforto acumulado no cenário EXFR6	41
Gráfico 4.38: Graus-horas desconforto acumulado no cenário EXFO1	42
Gráfico 4.39: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção interior, Oeste	42
Gráfico 4.40: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção exterior, Oeste	43
Gráfico 4.41: Comparação da mesma percentagem da relação A_{env}/A_{pav} em compartimentos de dimensões diferentes (cenário POINFR6)	43
Gráfico 4.42: Análise da temperatura operativa num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção interior, Oeste, Porto	44
Gráfico 4.43: Análise da temperatura operativa num cenário com inércia forte, envidraçado 1,8m ² , proteção exterior, Oeste, Porto	45
Gráfico 4.44: Eficácia da ventilação noturna num cenário com inércia forte, envidraçado 6m ² , proteção exterior, Oeste, Porto	45
Gráfico 4.45: Eficácia da ventilação noturna num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m ² , proteção exterior, Oeste, Porto	46
Gráfico 4.46: Influência da alteração das variáveis na evolução das temperaturas do ar interior	46
Gráfico 4.47: Influência da alteração das variáveis na evolução das temperaturas do ar interior	47
Gráfico 7.1: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	57
Gráfico 7.2: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	57
Gráfico 7.3: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	57
Gráfico 7.4: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	58
Gráfico 7.5: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	58
Gráfico 7.6: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	58
Gráfico 7.7: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	59
Gráfico 7.8: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	59
Gráfico 7.9: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	59
Gráfico 7.10: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	60

Gráfico 7.11: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	60
Gráfico 7.12: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	60
Gráfico 7.13: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	61
Gráfico 7.14: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	61
Gráfico 7.15: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	61
Gráfico 7.16: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	62
Gráfico 7.17: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	62
Gráfico 7.18: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	62
Gráfico 7.19: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	63
Gráfico 7.20: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	63
Gráfico 7.21: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	63
Gráfico 7.22: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	64
Gráfico 7.23: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	64
Gráfico 7.24: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	64
Gráfico 7.25: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	65
Gráfico 7.26: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	65
Gráfico 7.27: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	65
Gráfico 7.28: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	66
Gráfico 7.29: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	66
Gráfico 7.30: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	66
Gráfico 7.31: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	67
Gráfico 7.32: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	67
Gráfico 7.33: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	67
Gráfico 7.34: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	68
Gráfico 7.35: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	68
Gráfico 7.36: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	68
Gráfico 7.37: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	69
Gráfico 7.38: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	69
Gráfico 7.39: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	69
Gráfico 7.40: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	70
Gráfico 7.41: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	70
Gráfico 7.42: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	70
Gráfico 7.43: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	71

Gráfico 7.44: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	71
Gráfico 7.45: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	71
Gráfico 7.46: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	72
Gráfico 7.47: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	72
Gráfico 7.48: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	72
Gráfico 7.49: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	73
Gráfico 7.50: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	73
Gráfico 7.51: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	73
Gráfico 7.52: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	74
Gráfico 7.53: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	74
Gráfico 7.54: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	74
Gráfico 7.55: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	75
Gráfico 7.56: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	75
Gráfico 7.57: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	75
Gráfico 7.58: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	76
Gráfico 7.59: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	76
Gráfico 7.60: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	76
Gráfico 7.61: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m ²	77
Gráfico 7.62: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m ²	77
Gráfico 7.63: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m ²	77
Gráfico 7.64: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m ²	78

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

GHD – Graus-hora de desconforto

GHD AC – Graus-hora de desconforto acumulado

REH – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

Rph – Renovações por hora

QAI – Qualidade do ar interior

PMV – Predicted Mean Vote ou voto médio previsível

PPD – Predicted Percentage Dissatisfied ou percentagem previsível de insatisfeitos

POEXFO1 – Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

POEXFR1 – Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

POINFO1 – Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

POINFR1 – Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

POEXFO6 – Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

POEXFR6 – Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

POINFO6 – Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

POINFR6 – Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

PEEXFO1 – Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

PEEXFR1 – Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

PEINFO1 – Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

PEINFR1 – Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

PEEXFO6 – Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

PEEXFR6 – Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

PEINFO6 – Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

PEINFR6 – Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

PSEXFO1 – Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

PSEXFR1 – Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

PSINFO1 – Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

PSINFR1 – Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

PSEXFO6 – Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

PSEXFR6 – Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

PSINFO6 – Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

PSINFR6 – Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

PNEXFO1 – Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

PNEXFR1 – Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
PNINFO1 – Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
PNINFR1 – Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
PNEXFO6 – Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
PNEXFR6 – Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
PNINFO6 – Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
PNINFR6 – Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
EOEXFO1 – Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
EOEXFR1 – Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
EOINFO1 – Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
EOINFR1 – Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
EOEXFO6 – Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
EOEXFR6 – Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
EOINFO6 – Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
EOINFR6 – Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
EEEXFO1 – Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
EEEXFR1 – Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
EEINFO1 – Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
EEINFR1 – Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
EEEXFO6 – Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
EEEXFR6 – Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
EEINFO6 – Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
EEINFR6 – Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
ESEXFO1 – Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
ESEXFR1 – Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
ESINFO1 – Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
ESINFR1 – Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²
ESEXFO6 – Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
ESEXFR6 – Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
ESINFO6 – Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²
ESINFR6 – Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²
ENEXFO1 – Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²
ENEXFR1 – Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

ENINFO1 – Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

ENINFR1 – Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

ENEXFO6 – Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

ENEXFR6 – Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

ENINFO6 – Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

ENINFR6 – Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA

Desde de sempre que os povos construíram casas com o objetivo de se proteger das condições adversas do ambiente exterior. Pode-se dizer que a Engenharia é aplicada desde os tempos mais longínquos e sempre com novos conceitos e ideias de se construir de uma maneira diferente e melhor.

No passado, os edifícios residenciais eram continuamente ventilados pela abertura das janelas e infiltrações de ar através de frinchas permitindo uma constante circulação e renovação do ar, promovendo não só ar fresco mas também a manutenção dos níveis de qualidade do ar e o arrefecimento causando sensações de conforto nos ocupantes na estação de arrefecimento.

Com a evolução da sociedade começou a existir uma crescente preocupação com a qualidade e conforto térmico dos habitantes nos edifícios. Esta evolução conduziu ao desenvolvimento da construção. Foram surgindo materiais e tecnologias de construção cada vez melhores e mais aprimorados que davam resposta às necessidades das pessoas.

No entanto, nem tudo é favorável. Estas evoluções como a maior estanquidade ao ar nas habitações devido a uma menor permeabilidade das janelas e das portas, a opção de construir edifícios com inércia fraca, a tendência a optar por grandes vãos envidraçados, a utilização de proteções solares pelo interior, tudo isto leva ao sobreaquecimento retirando o conforto na estação de arrefecimento, causando um elevado desconforto devido às altas temperaturas atingidas dentro das residências.

Para combater estes valores de temperaturas tão desagradáveis sentidas pelos utilizadores no interior dos edifícios temos de adotar estratégias de ventilação eficientes.

É neste sentido que surge a realização deste trabalho. Para combater o sobreaquecimento, o ar exterior que vai entrar no edifício deve estar a uma temperatura inferior à temperatura interior. A ventilação é uma ferramenta que permite alcançar não só temperaturas confortáveis mas também a introdução de níveis de ar novo para controlar os poluentes que tornam a qualidade do ar interior fraca. Outros fatores capazes de combater o alcance de temperaturas altamente elevadas para serem suportadas pelos ocupantes são também relevantes para este estudo.

Surge assim o interesse em avaliar o potencial de arrefecimento no verão que, consiste em estratégias para controlar os ganhos excessivos de calor tão próprios desta estação.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Na conceção de um edifício deve-se ter em conta vários fatores e estratégias de ventilação para que não haja um sobreaquecimento dos espaços interiores dos edifícios causando desconforto térmico.

O presente trabalho tem como objetivo o estudo do potencial de arrefecimento através da ventilação durante a estação de arrefecimento. Para esta análise irá testar-se vários cenários com características semelhantes onde se pode observar o comportamento da alteração de algumas variáveis e assim aprovar as que melhor se adaptam para um bom sistema de arrefecimento e excluir aquelas que de todo não trazem qualquer tipo de contribuição para este fim.

Com este estudo pretende-se fornecer alguns conhecimentos sobre a capacidade de arrefecimento através das variáveis em estudo juntamente com a ventilação.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação desenvolve-se ao longo de cinco capítulos que abordam diferentes temas.

No Capítulo 2, faz-se referência aos fatores que mais influenciam o sobreaquecimento, destacando-se também os diferentes tipos de ventilação.

No Capítulo 3, faz-se uma breve abordagem ao conceito de conforto térmico, parâmetros que o influenciam, definição de alguns mecanismos de transferência de calor. Fala-se ainda em qualidade do ar interior e índices de conforto térmico.

No Capítulo 4, procede-se então ao estudo paramétrico com o auxílio de uma ferramenta de cálculo, o LESOCOOL. São identificados os cenários simulados e também a escolha dos mais interessantes para avaliar então o potencial de arrefecimento. É feita a escolha da estratégia de ventilação mais eficiente a usar nesses casos. São apresentados e comentados os resultados obtidos comparando-se os diferentes parâmetros em estudo.

Por último, no Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões dos resultados consequentes do estudo paramétrico. Este capítulo encerra-se com a sugestão de trabalhos que poderão ser realizados em complemento a esta dissertação.

2

**FATORES QUE INFLUENCIAM
O SOBREAQUECIMENTO****2.1. VENTILAÇÃO**

A ventilação é um processo que consiste em extrair o ar do interior dos compartimentos, substituindo-o por ar exterior [1]. É um processo bastante importante para se controlar a qualidade do ar, renovando-o e, no verão, reduzir a temperatura interior pela entrada de ar à temperatura exterior, com o objetivo de se atingir o conforto térmico. A ventilação das habitações deve ser geral e permanente, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior obriga a manter as janelas fechadas [2]. Uma adequada estratégia de ventilação vai também reduzir custos de energia. A renovação do ar através da ventilação é uma forma de se extrair os poluentes do ar dentro dos edifícios e manter os valores mínimos de salubridade do ar.

A Taxa Horária de Renovação de Ar corresponde ao número de vezes que determinado volume de ar é completamente substituído numa hora [1].

O cálculo deste parâmetro é feito através da equação 1:

$$Rph = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

Em que:

R_{ph} – Número de renovações horárias [h^{-1}];

Q – Caudal de extração [m^3/h];

V – Volume do compartimento [m^3].

No verão, estação a ser estudada nesta dissertação, pode ter-se até 4 renovações horárias, critério utilizado para as simulações do estudo paramétrico. A NP 1037 [2], fornece os caudais mínimos a extrair dos compartimentos em função do seu volume.

Existem dois tipos de ventilação, natural e mecânica. A primeira ocorre apenas graças a fenómenos naturais resultando da existência de diferenças de pressão provocadas pela ação do vento ou pelas diferenças de temperatura entre o ambiente exterior e o ambiente interior. A segunda resulta de meios mecânicos que implicam custos. É usada mesmo quando as condições exteriores não são favoráveis proporcionando um ambiente interior saudável e confortável para os utilizadores. Tem como grande desvantagem o ruído e o consumo de energia.

2.2. OUTROS FATORES

Na construção de um edifício deve-se avaliar e refletir sobre quais os fatores a ter em conta que mais contribuem para o sobreaquecimento atuando de forma eficaz sobre eles. A área e a distribuição dos vãos envidraçados são um dos motivos mais influentes no aquecimento interior dos edifícios. O tipo de inércia contribui bastante para as variações da temperatura interior pois traduz-se na capacidade de armazenamento de calor por parte dos materiais. Os ganhos solares resultantes da radiação que são captados pelos envidraçados apresentam também grande relevância nas temperaturas interiores atingidas tal como os ganhos internos provenientes da iluminação artificial, equipamentos elétricos e atividade dos ocupantes. A ventilação é um fator muito relevante no apoio ao combate do sobreaquecimento. De seguida, em complemento à ventilação, vai também definir-se os pontos mais importantes deste assunto escolhidos como parâmetros de estudo deste trabalho.

2.2.1. INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica tem um papel fundamental na criação de um clima interior estável e confortável nas habitações. Este conceito é muito significativo em climas sujeito a grandes amplitudes térmicas, clima típico de Portugal.

A inércia térmica é a capacidade de determinado material em absorver e armazenar calor libertando-o ao fim de um certo tempo. As variáveis climáticas exteriores têm um grande peso no efeito da inércia térmica na temperatura interior. Este parâmetro traduz-se na competência mais importante que os edifícios devem deter que consiste em não permitir que as temperaturas interiores acompanhem as flutuações da temperatura do ar exterior. Uma inércia forte está associada a uma maior estabilidade térmica nos edifícios.

Segundo o despacho n.º 15793-K/2013 [3], a quantificação da inércia térmica faz-se através da equação 2:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (2)$$

Em que:

I_t – Inércia térmica [kg/m^2];

M_{s_i} – Massa superficial útil do elemento i , [kg/m^2];

r – Fator de redução da massa superficial útil;

S_i – Área da superfície interior do elemento i , [m^2];

A_p – Área útil de pavimento [m^2].

A inércia térmica divide-se em três classes:

- Fraca: $I_t < 150$
- Média: $150 \leq I_t \leq 400$
- Forte: $I_t > 400$

Para a otimização do contributo da inércia é importante evitar a aplicação de materiais leves como tetos falsos e alcatifas.

Quanto mais forte for a inércia, melhor é para os ocupantes dos edifícios pois as grandes variações de temperatura que poderão ocorrer não se fazem sentir no interior, enquanto que com uma inércia mais

fraca as temperaturas interiores aproximam-se das temperaturas exteriores sentindo-se por vezes temperaturas bastante elevadas no caso do verão.

A combinação deste conceito com a ventilação é bastante importante nas noites de verão, objeto de estudo neste trabalho, pois permite que o calor armazenado nos materiais pesados seja libertado durante a noite e, seja restabelecida a capacidade de acumular e absorver o calor excessivo do dia seguinte, evitando a saturação da inércia térmica disponível por acumulação de calor preservando assim o ambiente interior confortável [4].

2.2.2. GANHOS SOLARES

Os ganhos solares dependem da radiação e das características dos vãos envidraçados como o fator solar, orientação, área e dispositivos de proteção. A relação destes fatores vai resultar numa parcela muito significativa nas temperaturas interiores atingidas.

Na análise desta tese, o valor deste parâmetro resulta então da multiplicação da área do envidraçado pelo fator solar global descrito em 4.2.

2.2.2.1. Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados fornecem bastante luz natural aos edifícios e por isso há cada vez mais tendência para a sua utilização e com áreas cada vez maiores. A arquitetura atual caracteriza-se pela presença de grandes vãos que por vezes ocupam a totalidade de uma fachada. É claro que no Inverno, os ganhos solares através destes vãos são sempre bons mas no verão podem levar ao sobreaquecimento dos edifícios causando um enorme desconforto devido às altas temperaturas atingidas. Por isso é necessário tratar este elemento com grande cuidado. A sua orientação deve ser bem estudada tal como todas as suas outras características para se conseguir a criação de espaços interiores com boas condições térmicas.

2.2.2.2. Radiação Solar

A radiação proveniente do Sol é um dos fatores climáticos exteriores mais relevantes no estudo do sobreaquecimento. A radiação incidente nos vãos vai depender da orientação do mesmo, ou seja, quando temos um vão orientado a Este, as horas de maior calor serão de manhã, a Oeste serão ao fim da tarde enquanto que a Sul estes valores fazem-se sentir ao meio-dia. Aqui, entra o papel da geometria de insolação onde podemos analisar o percurso do sol e assim conseguir melhores resultados na aplicação dos envidraçados. Na Figura 2.1 ilustra-se o percurso do Sol.

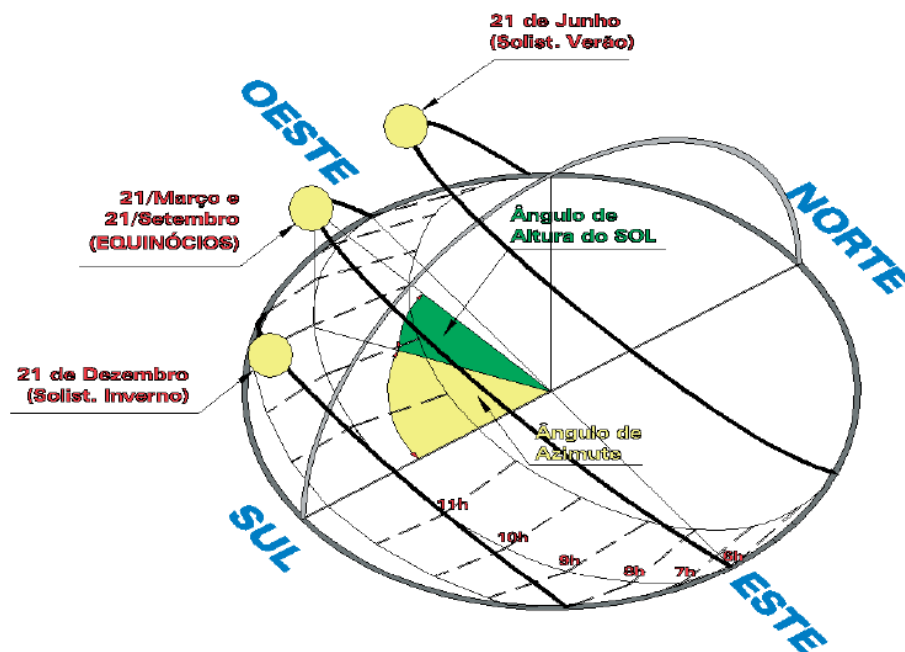


Figura 2.1: Percurso do Sol ao longo do ano [5]

A intensidade da radiação solar à superfície da Terra depende ainda de vários fatores segundo [6]:

- Espessura da camada da atmosfera: quanto mais espessa for a camada atravessada pelos raios solares, mais fraca será a potência energética da radiação à superfície da Terra. A radiação atinge o seu valor máximo com a altura máxima do Sol, ao meio dia, que é quando a camada de atmosfera atravessada é menor;
- Ângulo da radiação solar com a superfície de incidência: quanto mais perpendicular for a radiação, mais elevada é a sua energia;
- Outros fatores: temperatura do ar, grau de poluição atmosférica, quantidade de vapor de água e altitude do lugar.

2.2.2.3. Dispositivos de Proteção

Os dispositivos de proteção são soluções que complementam os vãos envidraçados. Estes são extremamente indispensáveis durante a estação de arrefecimento pois têm como finalidade proteger os envidraçados da radiação proveniente do Sol.

Os dispositivos de proteção dividem-se em dispositivos interiores e dispositivos exteriores:

- Os dispositivos interiores interrompem o fluxo de radiação depois de atravessarem os vãos envidraçados. Este dispositivo só atua na radiação que atravessa o envidraçado sendo distribuída para o espaço interior por convecção. Estes dispositivos não são eficientes;
- Os dispositivos exteriores são mais eficazes pois impedem a radiação solar de atingir o vão. Assim, este elemento elimina a radiação incidente absorvida pelo envidraçado reduzindo também os ganhos no interior da habitação.

Estes dispositivos devem ser controlados pelos utilizadores permitindo-lhes controlar a entrada da radiação e a entrada de luz direta.

2.2.2.4. Fator Solar

O fator solar de um vão envidraçado representa o quociente entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior, e a radiação solar nele incidente [7]. O fator solar total abrange o fator solar do vidro e fator solar do dispositivo de proteção a ser utilizado. O cálculo deste fator para o estudo paramétrico é feito no capítulo 4.

2.3. POTENCIAL DE ARREFECIMENTO ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO

2.3.1. VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é a técnica de arrefecimento passivo mais predominante. A ventilação do ar de ambientes interiores é necessária para manter os níveis de oxigénio e a manutenção da qualidade do ar. Tradicionalmente, a ventilação é conseguida por meios naturais. Na maioria dos edifícios antigos, os níveis de infiltração eram tais que permitiam quantidades consideráveis de ar exterior entrar nos edifícios mas, com a arquitetura moderna, estes níveis de infiltração foram sendo reduzidos [8].

O uso da ventilação natural juntamente com condições externas favoráveis, podem resultar no seguinte, segundo [8]:

- Redução da carga de arrefecimento;
- Melhoramento das condições de conforto;
- Manutenção dos níveis de QAI.

A eficácia das técnicas de ventilação natural nos edifícios depende do conhecimento do fluxo de ar em torno do edifício, dos obstáculos existentes na envolvente mas também das estratégias utilizadas para promover a ventilação. O objetivo principal é ventilar a maior porção possível do espaço interior que está dependente da localização das aberturas, organização interior e do vento. A eficiência deste sistema é então determinada por:

- Condições exteriores – velocidade do vento, temperatura, humidade, topografia;
- O edifício – orientação, tamanho, localização e número de janelas [8].

A temperatura exterior, a humidade e a velocidade do vento são fatores determinantes para o sucesso da aplicação da ventilação natural.

Para efeitos de arrefecimento, o ar de entrada deve estar a uma temperatura mais baixa do que a temperatura do ar interior. No entanto, mesmo para temperaturas altas, o fluxo de ar gerado no interior do espaço pode causar efeitos positivos nas condições de conforto térmico dos ocupantes, desde que aumente a dissipação de calor do corpo humano e as perdas de calor evaporativo e convectivo [8].

A ventilação natural é causada por diferenças de pressão causadas pelo vento, pelas diferenças de temperatura ou ambos. Tanto a temperatura como o vento variam com o tempo e a localização o que torna difícil o controlo do fluxo de ventilação [9]. De seguida apresentam-se brevemente dois mecanismos inerentes à ventilação natural consequentes destas diferenças de pressão. O efeito de chaminé associado às diferenças de temperatura e a ação do vento relacionado com o efeito do vento como o nome indica.

2.3.1.1. Efeito de Chaminé

A circulação de ar que ocorre devido à diferença de temperatura entre o ar no interior e no exterior fica a dever-se ao facto de o ar quente e húmido ser mais leve que o ar frio e seco, assim quando o ar

interior está a uma temperatura superior à do ar exterior, o ar interior sai do edifício pelas aberturas localizadas a cota superior, sendo substituído por ar mais frio que entra pelas aberturas situadas a uma cota inferior. Existe um ponto em que a diferença de pressão é nula que é conhecido como o nível de pressão neutra e, cuja posição é determinada pela diferença de temperatura e pela resistência ao fluxo ao longo do caminho. O fluxo de ar gerado é proporcional à diferença de temperatura entre o interior e o exterior numa distância vertical até ao nível de pressão neutra [9].

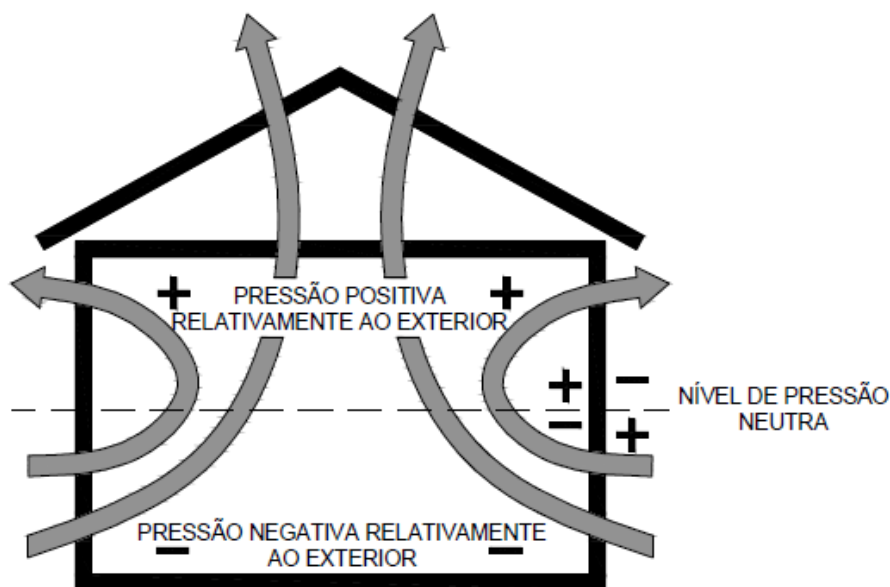


Figura 2.2: Efeito das diferenças de temperatura [9]

2.3.1.2. Ação do Vento

O vento é uma grandeza que varia no tempo e no espaço de forma imprevisível. Em resultado da ação do vento, são geradas diferenças de pressão. Uma pressão positiva, sobrepressão, é criada no lado da fachada que enfrenta o vento, barlavento, permitindo a entrada de ar. Nas fachadas opostas e laterais gerem-se pressões negativas, subpressão. Há assim uma deslocação de ar no sentido da pressão positiva para a pressão negativa como se ilustra na Figura 2.3. Este movimento do ar pode ocorrer acidentalmente através de caminhos de ar existentes no edifício ou intencionalmente através de caminhos para o ar definidos para o efeito [9].

Este efeito depende de variáveis do próprio edifício, como a geometria do edifício mas também de variáveis consequentes da localização do mesmo, a rugosidade urbana e a direção dos ventos. Para um bom aproveitamento deste fenómeno natural, é fundamental conhecer o clima, sobretudo o efeito do vento.

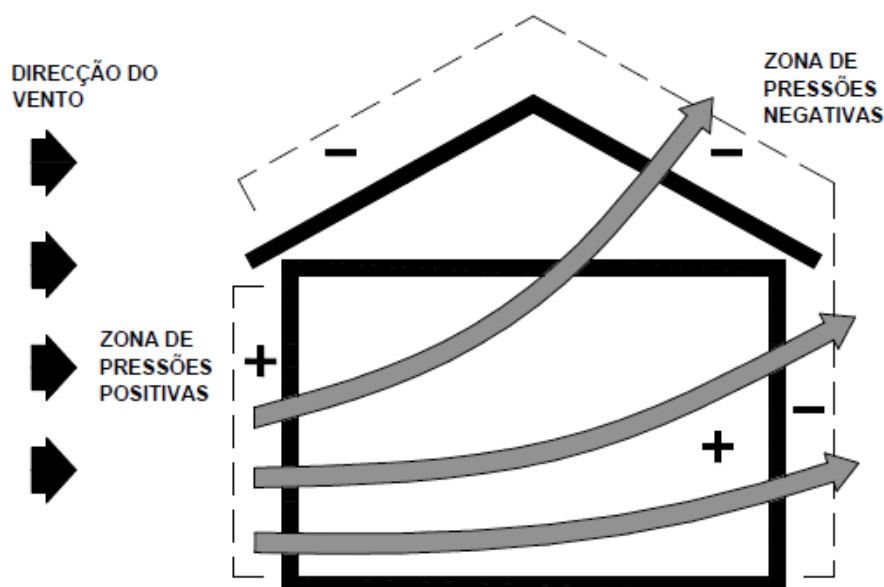


Figura 2.3: Efeito da ação do vento [9]

No estudo realizado ao longo deste trabalho não se contabilizou a ação do vento pois a ferramenta de cálculo utilizada não permite a introdução deste fator.

2.3.2. VENTILAÇÃO NOTURNA

As técnicas de ventilação natural para arrefecimento são mais eficazes durante a noite onde normalmente, as temperaturas do ar exterior são mais baixas reduzindo assim a temperatura do ar interior nos edifícios e também a dos materiais da envolvente com capacidade de armazenamento de calor deixando-os com as condições ideais para no dia seguinte conseguirem voltar a armazenar calor.

O recurso a este tipo de ventilação é bastante eficiente em lugares com grandes amplitudes térmicas onde, durante o dia se alcança elevadas temperaturas e à noite se atinge valores mais baixos possibilitando o efeito da ventilação ser muito positivo. O ar fresco circula no interior do edifício refrescando-o para no dia seguinte estar apto para suportar de novo as altas temperaturas e permitir um bom desempenho termicamente.

Evidentemente, o desempenho desta estratégia depende não só da capacidade de armazenamento e troca de calor da envolvente, mas também do fluxo de ar que se admite circular no interior do edifício.

A ventilação noturna terá os seguintes efeitos na temperatura interior do dia seguinte:

- Reduzir o pico de temperatura máxima sentida durante o dia;
- Reduzir a temperatura do ar interior ao longo de todo o dia, especialmente durante a manhã;
- Reduzir a temperatura dos elementos com capacidade de armazenamento de calor;
- Criar uma diferença temporal entre o momento dos valores máximos diários da temperatura interior e exterior [9].

Em suma, o desempenho da ventilação noturna depende de:

- Temperatura e fluxo de ar que circula no interior do edifício durante a noite;
- Capacidade de troca de calor dos elementos da envolvente com o ar interior;

- Capacidade de armazenamento da envolvente [9].

2.3.3. VENTILAÇÃO CRUZADA VS VENTILAÇÃO UNILATERAL

O efeito da ventilação depende da configuração do edifício, isto é, do posicionamento das aberturas. Assim existem os conceitos de ventilação unilateral e ventilação transversal ou cruzada.

Na presente dissertação o compartimento em estudo tem apenas um envidraçado encaixando-se no tipo de ventilação unilateral.

A ventilação unilateral é característica de edifícios que apresentam aberturas numa única fachada. O movimento do ar faz-se apenas por um único lado de determinado espaço. Neste caso a ventilação é menos eficiente tornando-se difícil obter resultados. Em situações destas é aconselhável a colocação de duas aberturas afastadas entre si como se pode ver na Figura 2.4.

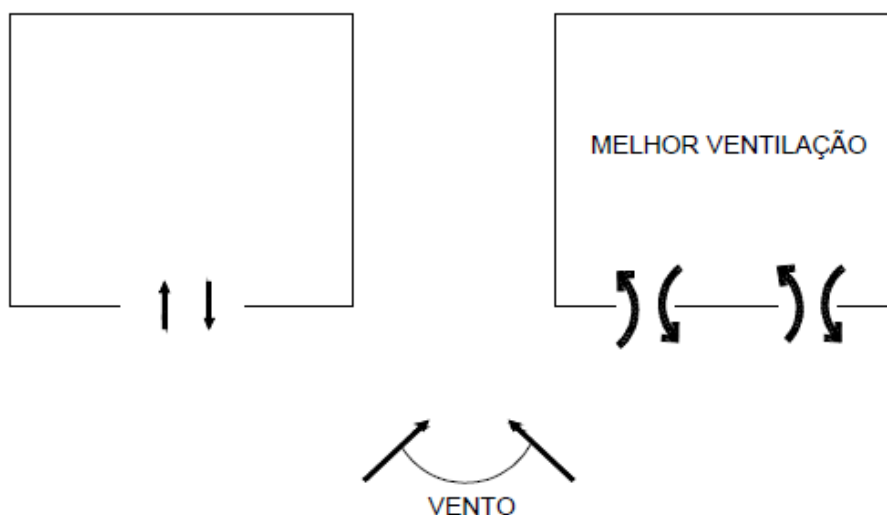


Figura 2.4: Ventilação unilateral [8]

No entanto, é possível otimizar este sistema de ventilação com a colocação de palas verticais. Estas vão criar uma pressão positiva numa das aberturas e uma pressão negativa na outra de maneira a induzir a ventilação cruzada como se ilustra na Figura 2.5.

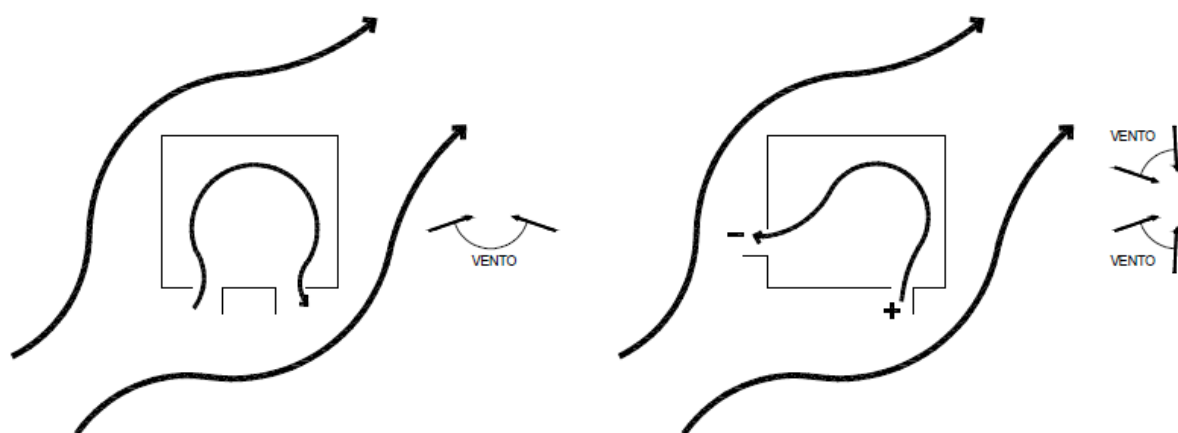


Figura 2.5: Ventilação unilateral com recurso a palas verticais à esquerda e ventilação cruzada à direita [8]

A ventilação cruzada também denominada por ventilação transversal é bastante utilizada como ventilação natural. Apresenta aberturas em mais do que um lado do compartimento permitindo uma maior circulação do ar abrangendo uma maior área de espaço da divisão. O ar atravessa o interior do edifício garantindo a sua ventilação e também a remoção dos poluentes presentes no ar.

Uma pressão positiva do lado do vento e uma pressão negativa do lado oposto provoca um movimento de ar através do espaço, no sentido de barlavento para sotavento desde que estejam abertas as aberturas dos dois lados como se pode observar na Figura 2.6 [10].

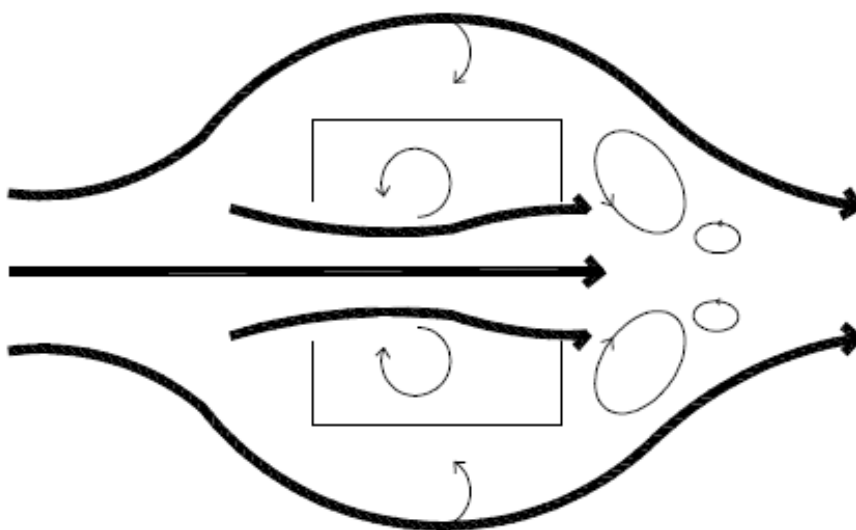


Figura 2.6: Ventilação cruzada [8]

Assim, a ventilação cruzada é melhor comparativamente com a ventilação unilateral pois refresca mais o ar interior, permitindo melhores sensações de conforto por parte dos utilizadores, fluxos de ar mais elevados resultando numa técnica mais eficaz. Esta também pode contribuir beneficamente com o uso de palas quando bem orientadas.

3

CONFORTO TÉRMICO

3.1. CONFORTO TÉRMICO

Segundo a ISO 7730, o conforto térmico é o estado psicológico que expressa satisfação com o ambiente térmico sendo difícil de explicar por parâmetros físicos [11]. Por outras palavras, uma pessoa está termicamente confortável quando não sente nem frio nem calor. O conforto térmico é uma condição essencial para o bem-estar dos ocupantes.

O calor produzido no corpo é determinado pelo nível de atividade da pessoa, sendo também variável com a idade e o sexo. Este calor é trocado com ambiente exterior por condução, convecção e radiação. A convecção depende da temperatura e velocidade do ar exterior.

Com o passar dos tempos, o conforto térmico passou a ser um objetivo a atingir pelos utilizadores nos edifícios. Quando não se está confortável, surge o desconforto. Este é um indicador importante para a saúde, porque é o primeiro sintoma que nos alerta para o facto das condições em que nos encontramos não serem as mais adequadas e assim devemos criar condições mais confortáveis [4].

Quando se está a trabalhar, o conforto é essencial para um melhor desempenho nas tarefas que estão a ser executadas. O desconforto vai provocar distração e inquietação e consequentemente vai baixar a produtividade pois a concentração do ser humano está sempre a ser interrompida.

O conforto térmico é um conceito bastante complexo pois depende da combinação de vários parâmetros para resultar positivamente. Os parâmetros mais importantes do conforto térmico subdividem-se em duas classes:

- Parâmetros individuais: atividade e vestuário;
- Parâmetros ambientais: temperatura do ar, humidade do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante.

Os utilizadores sentem a perda de calor e não a temperatura dos compartimentos. É então necessário medir os parâmetros que afetam essa perda de calor e são esses os parâmetros ambientais. A análise deste trabalho assenta sobre dois parâmetros ambientais: a temperatura do ar e a temperatura média radiante. A conjugação destes dois fatores vai resultar na temperatura que os ocupantes vão sentir.

A temperatura do ar é a variável mais importante na definição do conforto térmico. Por vezes, a definição de conforto térmico é simplificada sendo definido apenas pela temperatura do ar, não dando importância às restantes variáveis. O REH estabelece como temperatura de referência para a estação de arrefecimento, os 25°C.

A temperatura média radiante é, por definição a temperatura uniforme superficial de um espaço imaginário negro no qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação com o meio que no espaço real não uniforme. Pode ser entendida como a média pesada das temperaturas das superfícies envolventes do espaço onde as pessoas se encontram e inclui o efeito da radiação solar incidente [12].

A combinação destes dois fatores, resultam na temperatura operativa muitas vezes utilizada para especificar condições de conforto. Assim, a temperatura operativa tenta traduzir o efeito destes dois parâmetros mais a velocidade relativa do ar. Pode ser determinada pela seguinte expressão 3:

$$T_{op} = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_{mr} \quad (3)$$

Em que A é um parâmetro em função da velocidade do ar verificada pelas pessoas no interior do compartimento, que pode ser obtido pela Tabela 3.1:

Tabela 3.1: Valor do parâmetro A [12]

v_{ar} [m/s]	< 0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Admite-se que a velocidade do ar no interior vai ser inferior a 0,2m/s e que por isso, terá A=0,5. No entanto, para 4 renovações horárias do ar poderá haver momentos em que a velocidade do ar é superior a 0,2 m/s. Assim, a temperatura operativa vai ser considerada como sendo a média da temperatura do ar e da temperatura média radiante. Neste estudo, simplifica-se a temperatura média radiante como sendo a temperatura superficial da parede fornecido pelo programa utilizado.

Em 4.5.4 vai-se apenas pegar num cenário com inércia forte e num cenário com inércia fraca e ver que influência tem a temperatura média radiante na temperatura operativa em cada um dos casos.

A sensação de conforto térmico está associada a um estado de neutralidade térmica que é induzido pelo balanço térmico das trocas de calor entre o corpo humano e o meio envolvente.

A equação de balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente pode ser expresso pela equação 4:

$$S = M + W \pm R \pm C \pm K - E \pm Res \quad (4)$$

A variável S corresponde à acumulação total de calor no corpo humano, quando existe equilíbrio térmico o seu valor é nulo. Os restantes termos da equação estão representados na Figura 3.1:

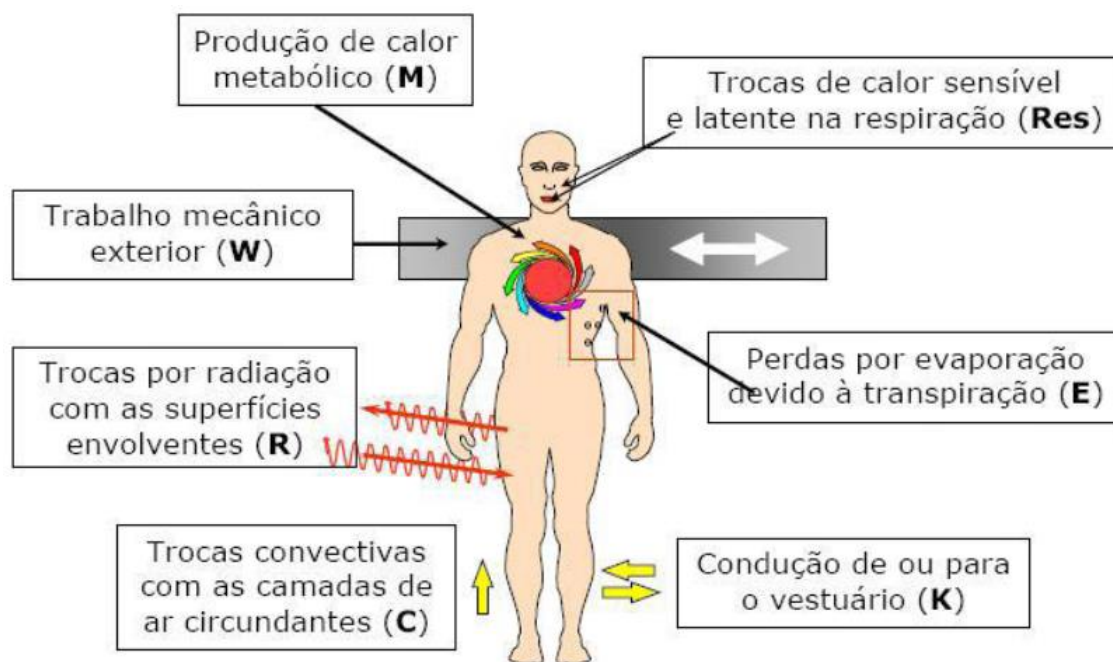


Figura 3.1: Balanço térmico do corpo humano [12]

3.2. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O estudo da resposta dos edifícios a nível de comportamento térmico é essencial para se atingir o conforto térmico. Compreender as variáveis inerentes a esta matéria, ou seja, os mecanismos de trocas térmicas e a sua relação com o ser humano, possibilita a conceção de espaços confortáveis e agradáveis para o homem. De seguida, apresentam-se alguns destes mecanismos.

3.2.1. CONDUÇÃO

FROTA et al [13], define a condução como a troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam a temperaturas diferentes. O parâmetro que influencia este mecanismo é o coeficiente de condutibilidade térmica, λ . Os materiais não apresentam todos o mesmo coeficiente de condutibilidade térmica, por isso, alguns materiais têm melhor ou pior capacidade de transferir o calor do que outros. Este fator determina o fluxo de calor que passa numa determinada área por unidade de tempo. A intensidade do fluxo térmico envolvido neste mecanismo é calculada pela equação 5:

$$q_{cd} = \frac{(\theta_e - \theta_i)}{r} \quad (5)$$

Onde:

q_{cd} – Intensidade do fluxo de calor por condução [W/m^2];

θ_e – Temperatura da superfície externa da envolvente [$^{\circ}\text{C}$];

θ_i – Temperatura da superfície interna da envolvente [$^{\circ}\text{C}$];

r – Resistência térmica específica da parede [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$].

3.2.2. CONVECÇÃO

FROTA et al [13], define a convecção como a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido, líquido ou gasoso. A equação 6 que envolve este mecanismo é:

$$q_c = h_c(t - \Theta) \quad (6)$$

Onde:

q_c – Intensidade do fluxo térmico por convecção [W/m^2];

h_c – Coeficiente de trocas térmicas por convecção [$\text{W/m}^2\text{°C}$];

t – Temperatura do ar [$^{\circ}\text{C}$];

Θ – Temperatura da superfície do sólido [$^{\circ}\text{C}$].

3.2.3. RADIAÇÃO

FROTA et al [13], define a radiação como um mecanismo de troca de calor entre dois corpos, que se encontram a uma distância qualquer, através da sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite a sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo. O fluxo de calor deste mecanismo é calculado pela equação 7:

$$q_r = h_r(\Theta - \Theta_r) \quad (7)$$

Em que:

q_r – intensidade do fluxo térmico por radiação [W/m^2];

h_r – coeficiente de trocas térmicas por radiação [$\text{W/m}^2\text{°C}$];

Θ – temperatura da superfície da parede considerada [$^{\circ}\text{C}$];

Θ_r – temperatura radiante relativa às demais superfícies [$^{\circ}\text{C}$].

3.3. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

No estudo paramétrico desta tese, escolheu-se analisar um índice de conforto, que neste caso é mais um parâmetro de desconforto. Esse parâmetro é designado por graus-hora de desconforto. Este parâmetro consiste no somatório das diferenças positivas entre a temperatura horária do ar interior e a temperatura de 25°C . Estes 25°C foram eleitos como a barreira entre as temperaturas confortáveis e as temperaturas desconfortáveis.

Com este índice, consegue-se prever a totalidade de graus de desconforto a que determinado espaço está sujeito, ou seja, os graus de sobreaquecimento que os ocupantes vão ter de suportar.

Outros índices que permitem quantificar o conforto térmico, mas que não são objeto de estudo deste trabalho, são o PMV e PPD.

O índice PMV, baseado no “voto de conforto” é expresso pela satisfação dos ocupantes mostrando o conforto térmico [12]. Baseada nos estudos de Fanger, a ISO 7730 [11], quantifica o conforto térmico de acordo com a seguinte Tabela 3.2:

Tabela 3.2: Escala de conforto térmico [11]

+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro / Confortável
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Este método é calculado a partir do voto médio de um grupo de pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos, a partir dos parâmetros higo-térmicos, temperatura, humidade relativa e velocidade do ar, da resistência térmica da roupa e da atividade metabólica designado por Predicted Mean Vote (PMV), ou voto médio previsível. O PMV resultou da análise estatística dos resultados obtidos em numerosos ensaios desenvolvidos em condições ambientais controladas e consiste num valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O PMV para uma situação de conforto térmico é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo [12].

Um outro índice proposto por Fanger é o PPD, percentagem previsível de insatisfeitos. Consiste na percentagem de pessoas que não estão confortáveis, ou seja, sentem frio ou calor, em função de PMV.

O índice PPD estabelece uma previsão quantitativa da percentagem de pessoas que consideram o ambiente desconfortável. Estes indicadores, PMV e PPD, exprimem sensações térmicas de desconforto em relação à totalidade do corpo. A relação entre os dois índices, PMV e PPD, encontra-se representada na Figura 3.2:

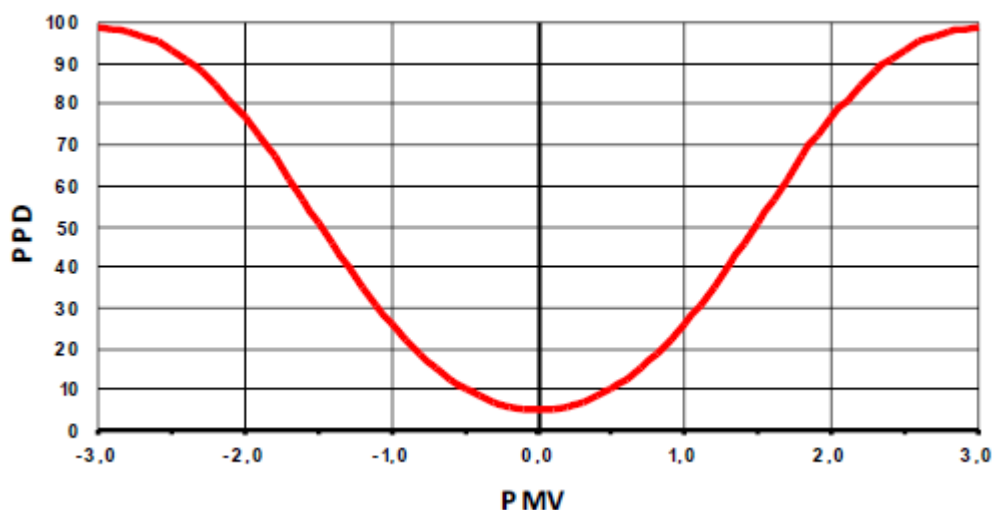


Figura 3.2: Relação entre os índices PMV e PPD [12]

3.4. QUALIDADE DO AR INTERIOR

O desempenho higtérmico de um edifício está diretamente relacionado com a qualidade do seu ambiente interior, por isso, não se pode falar em conforto térmico sem referir este conceito, qualidade

do ar interior. A qualidade do ar interior deve ser garantida para evitar elevados níveis de concentração de poluentes que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes e também para a conservação de um ambiente saudável.

A NP 1037 [2], apresenta-nos um quadro para os diferentes compartimentos, principais ou de serviço, e em função do seu volume fornece-nos um caudal mínimo de entrada ou extração. Este limite serve para assegurar os níveis de qualidade do ar interior.

No interior dos edifícios, existe uma grande produção de poluentes oriundos de três modos diferentes, dos materiais de construção utilizados, do metabolismo humano e das atividades que o homem pratica como cozinhar e lavar roupa. O ambiente do ar interior é bastante importante pois, podemos estar a uma temperatura muito agradável mas com baixos níveis de salubridade do ar e estamos em constante desconforto por vezes sem saber porquê. Alguns dos sintomas que o ser humano tem são: dor de cabeça, irritação nasal, garganta, olhos, tosse, alergias, asma, náuseas, dificuldade de concentração e fadiga [12].

Atualmente, a importância deste parâmetro é muito mais relevante do que nos tempos passados pois agora, as pessoas passam muito mais tempo dentro dos edifícios do que dantes. A evolução da sociedade, obrigou a analisar a qualidade do ar interior com mais cuidado e com uma preocupação crescente acerca deste tema.

4

SIMULAÇÃO NUMÉRICA. ESTUDO PARAMÉTRICO

4.1. ÂMBITO

Com o propósito de se analisar o potencial de arrefecimento de um espaço variando alguns parâmetros, resolveu-se definir estratégias de ventilação e concluir qual a mais eficaz. Determinaram-se os graus hora de desconforto para os piores e melhor cenários conseguindo-se analisar a eficácia da ventilação nas temperaturas interiores do compartimento em estudo.

Definiram-se diferentes cenários e procedeu-se às simulações com o apoio de um programa de cálculo realizando-se assim o estudo paramétrico.

4.2. CARATERIZAÇÃO DO PROGRAMA

A ferramenta de cálculo utilizada para a análise deste trabalho foi o Lesocool. Este software permite calcular o efeito do arrefecimento conseguido através de estratégias de ventilação tanto mecânicas como naturais.

O programa divide-se em quatro áreas diferentes a preencher pelo utilizador:

- Ventilação;
- Tempo;
- Zona;
- Dados climáticos.

Começa-se por escolher o tipo de ventilação, natural ou mecânica, e seleccionar uma das quatro estratégias que o programa oferece associada a um caudal de extração. Estas estratégias apoiam-se em ventilar quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior, ou se a temperatura interior for maior que 27°C, durante o período de horas de trabalho de um escritório das 8h às 18h e por fim uma estratégia definida pelo utilizador onde este pode definir o caudal de extração para cada hora.

Quanto ao tempo apenas consiste em determinar a duração da simulação e a hora a que se pretende que inicie. Esta análise foi realizada para um intervalo de 72 horas pois o programa não é adequado a períodos muito superiores a 24 horas.

Relativamente à zona, é onde se caracteriza o espaço a estudar e tem de inserir-se os seguintes dados:

- Geometria do espaço;
- Características dos envidraçados como a área e o coeficiente de transmissão térmica;

- Propriedades dos materiais constituintes das paredes, chão e teto. A ferramenta fornece uma gama de materiais, no entanto, e como permite o programa preferiu-se simplificar este parâmetro optando-se pela escolha de uma inércia fraca ou forte.

Os dados climáticos tanto da temperatura como da radiação foram retirados do SOLTERM.

Os dias escolhidos para esta análise foram os 3 dias consecutivos, no verão, com a média de temperatura diária mais elevada. A temperatura inicial para todas as simulações começou nos 25°C por ser esta a temperatura de referência.

A intensidade de radiação solar retirada do SOLTERM diz respeito às orientações Norte, Sul, Este e Oeste. Para a introdução dos valores horários dos ganhos solares foi necessário usar a seguinte fórmula 8:

$$\text{ganhos solares} = S * f * I \text{ [W]} \quad (8)$$

Em que:

S – Área do envidraçado [m^2];

I – Intensidade de radiação solar [W/m^2];

f – Fator solar.

O cálculo do fator solar para a análise deste trabalho resulta da seguinte fórmula 9:

$$g_T = 0,30 * g_{vi} + 0,7 * g_{Tvc} \quad (9)$$

Onde:

g_T – Fator solar global;

g_{vi} – Fator solar do vidro;

g_{Tvc} – Fator solar do dispositivo de proteção.

Este critério ainda do RCCTE foi escolhido face ao definido no REH pois pretende-se uniformizar a fórmula para todas as orientações e não utilizar diferentes parâmetros como indica o REH.

Quer isto dizer que em 70% do tempo tem-se o dispositivo de proteção ativado e, no restante tempo apenas se contabiliza o vidro. É de notar que g_{Tvc} varia consoante o tipo de proteção, interior ou exterior, adotada neste estudo.

Os dados de saída deste software são:

- Temperatura do ar interior;
- Temperatura da parede;
- Caudal de ar;
- Perda térmica devido à ventilação.

Destes dados vamos analisar os dois primeiros dando especial ênfase à temperatura do ar interior e analisar brevemente a influência da temperatura da parede na temperatura operativa sentida pelos ocupantes.

4.3. CENÁRIOS SIMULADOS

4.3.1. DESCRIÇÃO DO COMPARTIMENTO

O compartimento base selecionado para este estudo apresenta as seguintes dimensões:

- Largura: 3,5m;
- Pé-Direito: 2,9m;
- Profundidade: 5m.

Possui um envidraçado com uma área de 6m² ou 1,8m² dependendo do cenário, com um U=2,85 W/m²°C e um fator solar de 0,75. Este é complementado com uma proteção tanto interior como exterior de acordo com o caso selecionado que apresentam um fator solar de 0,4 e 0,04 respetivamente (valores retirados de [3]). O compartimento tem ainda uma porta na parede oposta ao vão com uma área de 2,10m². A seguir esquematiza-se os diversos cenários estudados para o compartimento descrito.

Tabela 4.1: Esquematização dos cenários simulados

	E6				E1,8			
	P. INTERIOR		P. EXTERIOR		P. INTERIOR		P. EXTERIOR	
NORTE	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA
SUL	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA
ESTE	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA
OESTE	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA	I. FORTE	I. FRACA

Em anexo, tem-se os gráficos referentes a cada um dos cenários da Tabela 4.1 e ao compartimento base onde se observa a evolução das temperaturas do ar interior sem ventilação e com ventilação.

Este panorama foi também analisado para um compartimento maior onde se alterou a largura para 5m e a profundidade para 7m deixando todos os outros parâmetros iguais. Resultaram então 64 casos diferentes. Estes foram observados em dois locais distintos, Porto e Évora.

Para uma melhor compreensão dos gráficos vai-se proceder de seguida à descrição da nomenclatura utilizada.

A primeira letra refere-se à localização, P- Porto e E- Évora, a segunda refere-se á orientação, N- Norte, S- Sul, E- Este e O- Oeste, as duas letras seguintes dizem respeito ao dispositivo de proteção, IN- dispositivo de proteção interior e EX- dispositivo de proteção exterior, as duas últimas letras indicam o tipo de inércia, FO- forte e FR- fraca. Por fim tem-se um número, 1- envidraçado de 1,8m² e 6- envidraçado 6m².

4.3.2. CENÁRIOS A ESTUDAR

Após uma análise a todo este panorama procedeu-se a uma simplificação do mesmo. Optou-se por examinar mais detalhadamente o melhor e os dois piores casos para cada orientação e local. Esses cenários foram então os seguintes:

- Proteção exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m² – EXFO1
- Proteção exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m² – EXFR6
- Proteção interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m² – INFR6

Fica assim implícito que para todos os casos intermédios os resultados não são melhores do que o cenário EXFO1 nem piores que os outros dois casos, EXFR6 e INFR6.

Nos gráficos seguintes pode-se comprovar então a opção por estes cenários.

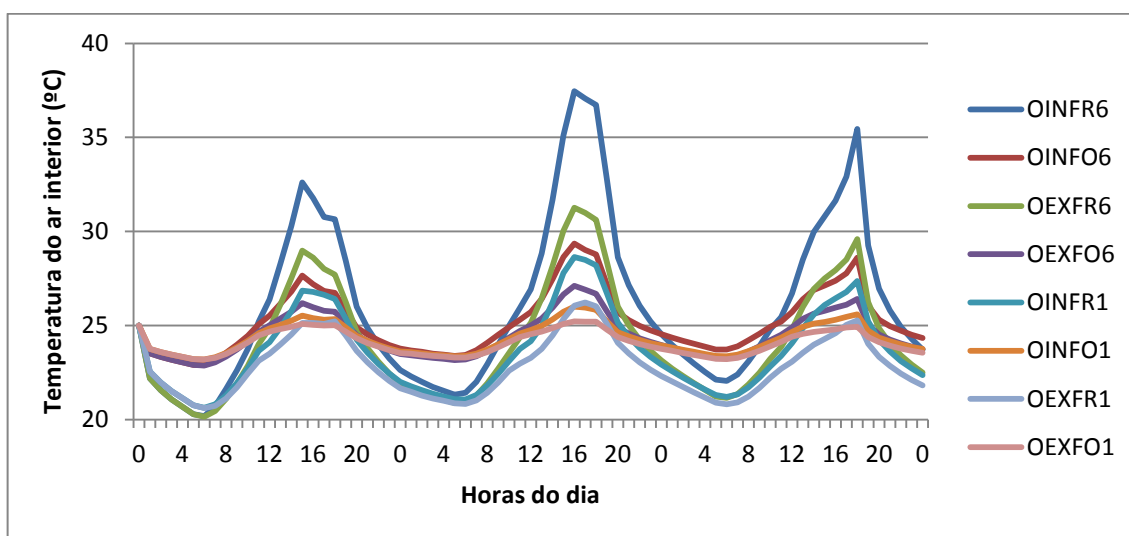


Gráfico 4.1: Comparação dos vários cenários no Porto na orientação Oeste

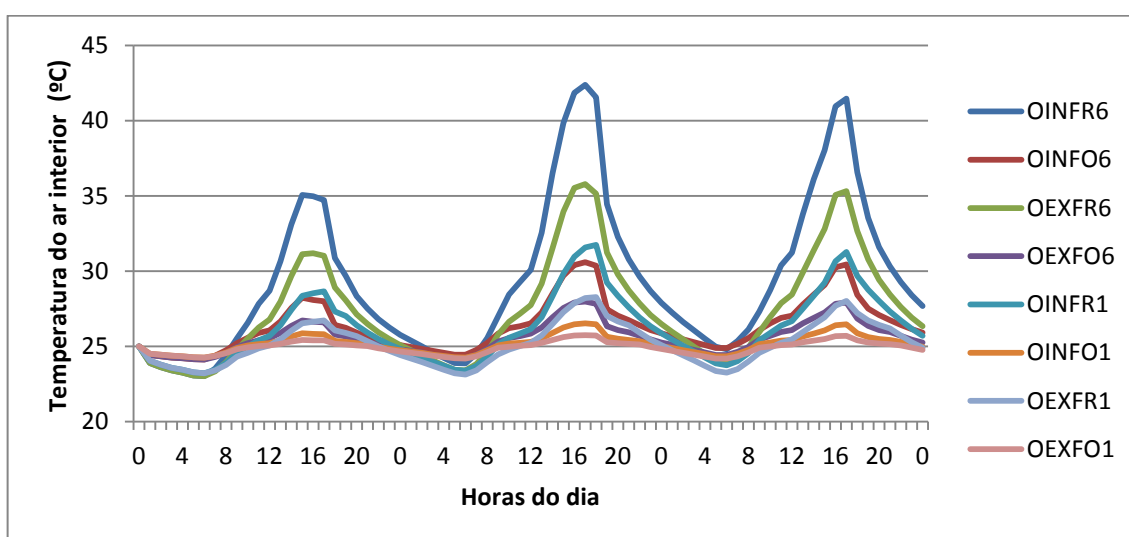


Gráfico 4.2: Comparação dos vários cenários em Évora na orientação Oeste

O Gráfico 4.1, referente ao Porto e o Gráfico 4.2 relativo à cidade de Évora, apresentam os 8 cenários simulados para o compartimento base na orientação Oeste. Verifica-se então que o melhor caso é OEXFO1, pois apresenta as menores temperaturas e amplitude térmica. Os piores casos são OINFR6 e OEXRF6 devido às elevadas temperaturas e grandes amplitudes térmicas como se pode analisar nos gráficos. Pode-se também observar, que OEXFR6 se evidencia mais em Évora do que no Porto devido às condições do clima, nomeadamente às altas temperaturas que se fazem sentir em Évora.

No que respeita ao compartimento maior, todos os cenários simulados apresentaram resultados melhores do que no compartimento pequeno como já era de esperar pois, se temos um mesmo vão envidraçado, já se sabe que o compartimento mais pequeno vai ser mais afetado do que um espaço com um volume maior. Assim o estudo para além de se cingir não só aos três casos já descritos anteriormente, também se optou pela análise do compartimento menor pois é o que apresenta resultados piores. No Gráfico 4.3 vai-se proceder à comparação de um cenário, do compartimento base que tem um volume de $17,5\text{m}^3$ com um compartimento de 35m^3 .

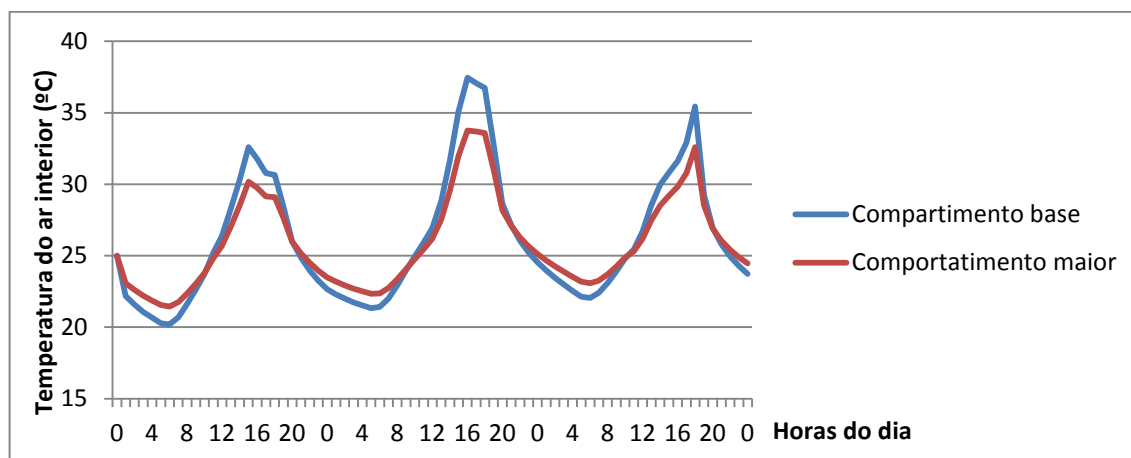


Gráfico 4.3: Comparação das temperaturas interiores entre um compartimento maior e um compartimento menor mantendo todas as outras variáveis iguais (cenário POINFR6)

Verifica-se que o compartimento base tem uma maior amplitude térmica, alcançando também picos mais elevados. Isto acontece em todos os cenários e por isso a análise foi feita só para o compartimento base pois é o caso mais desfavorável. Dos resultados obtidos em todos os cenários para este espaço, sabe-se que para um espaço maior mantendo todas as outras características, este vai-se comportar melhor.

4.3.3. DADOS CLIMÁTICOS

Tanto para o Porto como para Évora, os três dias em estudo são os que apresentam a média de temperatura diária mais elevada. Para o Porto esses dias são 9, 10 e 11 de Agosto, enquanto que em Évora são 23, 24 e 25 de Agosto. No Gráfico 4.4 podemos ver as temperaturas exteriores nos dois lugares distintos para os 3 dias consecutivos.

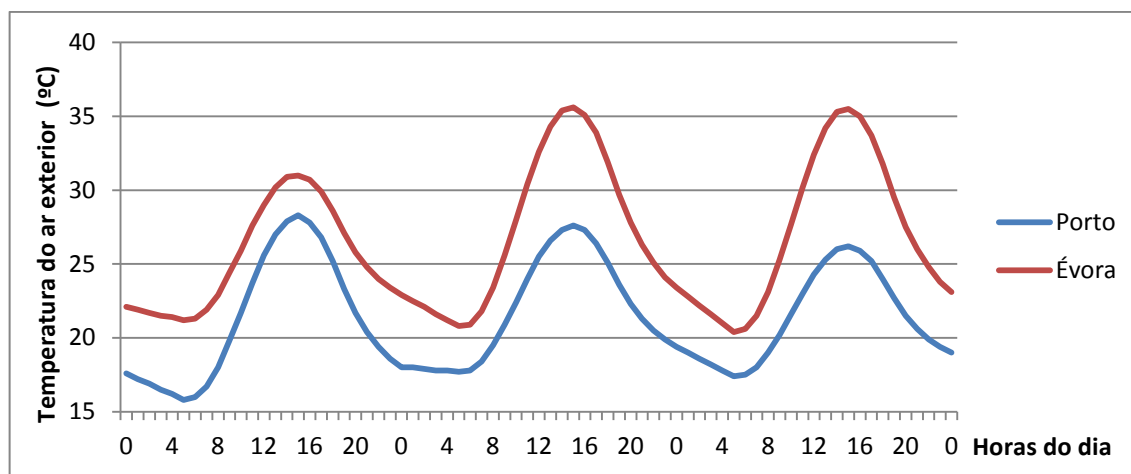


Gráfico 4.4: Temperaturas exteriores do Porto e Évora

Évora está sujeita a temperaturas mais elevadas do que o Porto e também a uma amplitude térmica maior.

4.4. ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO

As estratégias alternativas escolhidas para a investigação deste trabalho foram aquelas que correspondem a ventilar quando:

- $T_{ext} < T_{int}$;
- $T_{int} > 27^{\circ}\text{C}$;
- Entre as 8h e as 18h;
- Entre as 22h e as 8h.

Outro critério admitido foi garantir-se 4 renovações horárias usando-se então um caudal de extração de $203\text{m}^3/\text{h}$.

Apresenta-se de seguida a comparação entre as várias estratégias no Gráfico 4.5 e no Gráfico 4.6:

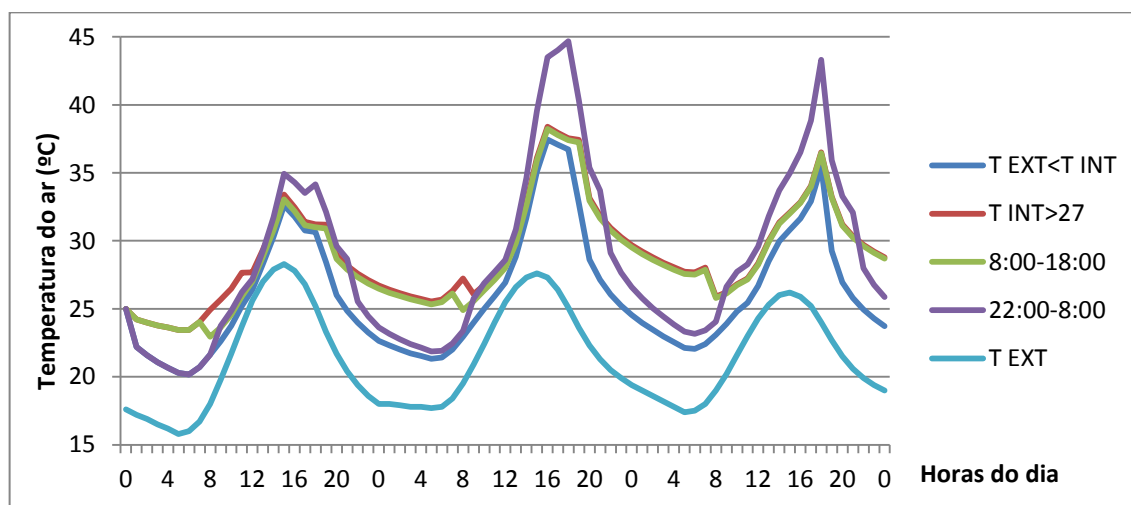


Gráfico 4.5: Comparação das estratégias de ventilação adotadas num cenário com inércia fraca. envidraçado 6m^2 , proteção interior, Oeste, Porto

Analisando o gráfico, podemos excluir a estratégia de ventilar só durante a noite, das 22:00-8:00, pois durante o dia são atingidas temperaturas elevadíssimas devido à inexistência de ventilação. A estratégia de ventilar só quando a temperatura é superior a 27°C assemelha-se bastante à opção de se ventilar das 8:00 às 18:00, horário onde se atingem as temperaturas mais altas. Estas duas hipóteses, em relação à ventilação noturna, são favoráveis durante o dia pois apresentam valores de temperatura muito mais baixos mas têm efeito mais desfavorável durante a noite devido à ausência de ventilação. A estratégia que se revelou mais eficaz foi a primeira, ventilar sempre que a temperatura exterior é menor do que a temperatura interior, ou seja, há uma ventilação contínua pois a temperatura exterior revela-se sempre menor que a temperatura interior, neste caso.

Nos casos onde a temperatura exterior não é sempre menor que a temperatura interior, por exemplo num cenário com inércia forte, esta estratégia origina também melhores resultados do que as outras como podemos notar no gráfico seguinte.

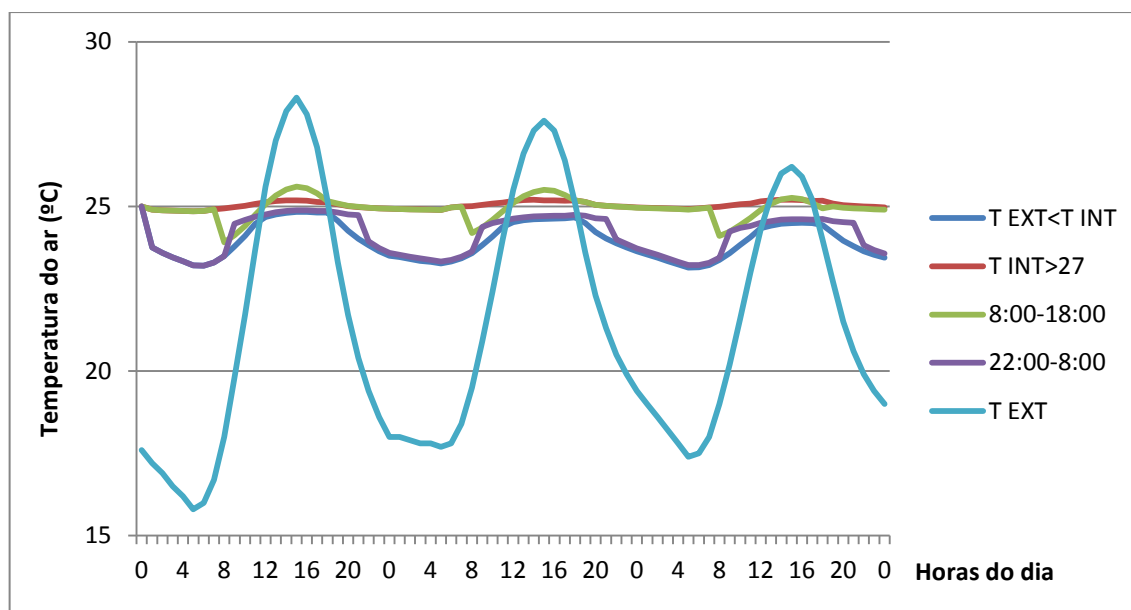


Gráfico 4.6: Comparação das estratégias de ventilação adotadas com inércia forte, envidraçado 1,8m², proteção exterior, Norte, Porto

No entanto, a ventilação noturna também se revela bastante eficiente, fazendo-se sentir a diferença apenas antes das 22h e depois das 8h. Relativamente às outras duas estratégias provocam resultados menos favoráveis como se pode analisar. Conclui-se então que a melhor estratégia é ventilar quando a temperatura exterior é menor do que a temperatura interior. Contudo, esta estratégia só é possível com a existência de sensores e meios mecânicos de ativação.

O estudo seguiu então este caminho visto que se quer estudar o potencial de arrefecimento e ter-se verificado ser esta a situação onde se consegue temperaturas interiores de conforto melhores.

4.5. ANÁLISE APROFUNDADA DOS RESULTADOS PARA OS CENÁRIOS SELECIONADOS

4.5.1. PORTO

4.5.1.1. Temperatura Interior

Os gráficos a seguir referem-se ao melhor e aos dois piores cenários para cada orientação no Porto. As simulações foram feitas no verão e decidiu-se optar pelas 4 renovações horárias. Em cada gráfico pode-se comparar para o mesmo espaço uma ventilação de $203\text{m}^3/\text{h}$ que correspondem às 4 h^{-1} , o mesmo espaço sem ventilação e ainda a temperatura exterior. A simulação começa nos 25°C , no entanto, a temperatura exterior do Porto varia entre os 16°C não ultrapassando sequer os 28°C acabando por conduzir a uma situação em que a temperatura interior é sempre mais alta do que a temperatura exterior devido a esta escolha de se começar a análise nos 25°C , temperatura definida como a temperatura de referência para a estação de arrefecimento.

A estratégia de ventilação adotada é ventilar sempre que a temperatura exterior é menor que a temperatura interior sendo esta a que se revelou mais eficaz pois se ventilarmos só quando a temperatura do ar exterior é menor que a temperatura do ar interior vai-se estar sempre a trocar ar que está a uma temperatura mais elevada por ar que está a uma temperatura mais baixa refrescando-se o compartimento.

Nestes primeiros gráficos que se referem a um espaço com inércia fraca, proteção interior e um grande envidraçado e onde se faz variar apenas a orientação, pode-se observar que a temperatura exterior é sempre menor que a temperatura interior. Nesta situação a ventilação vai ser contínua satisfazendo sempre as 4 rph.

No Gráfico 4.7 consegue-se observar a diferença, de aproximadamente 10°C , atingida quando passamos de um espaço que não é ventilado para um espaço com a ventilação já referida. Pode-se reparar que a temperatura interior acompanha a temperatura exterior devido à fraca inércia.

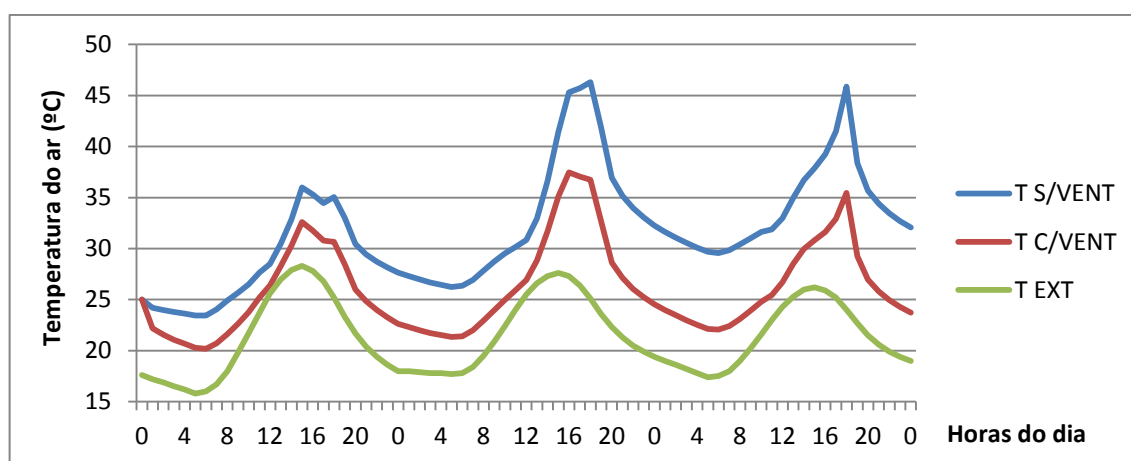
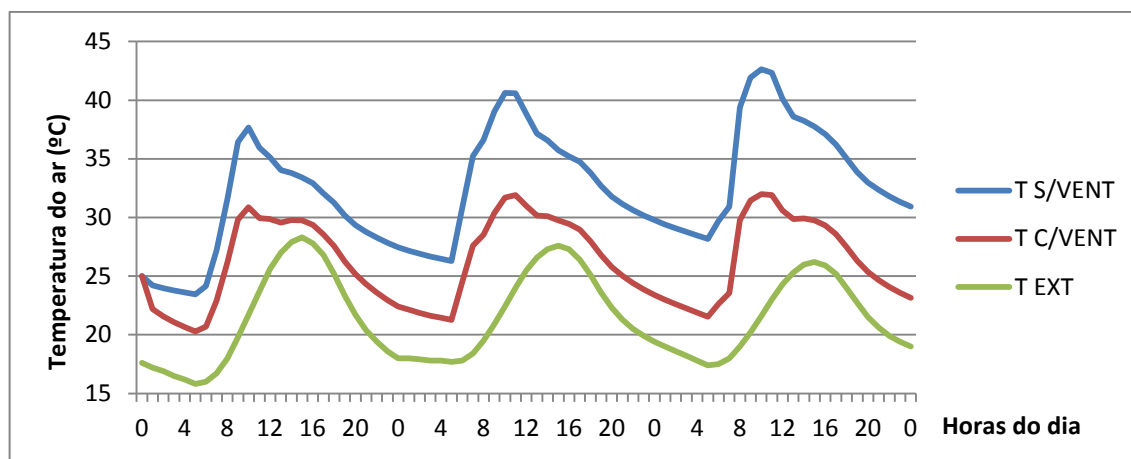


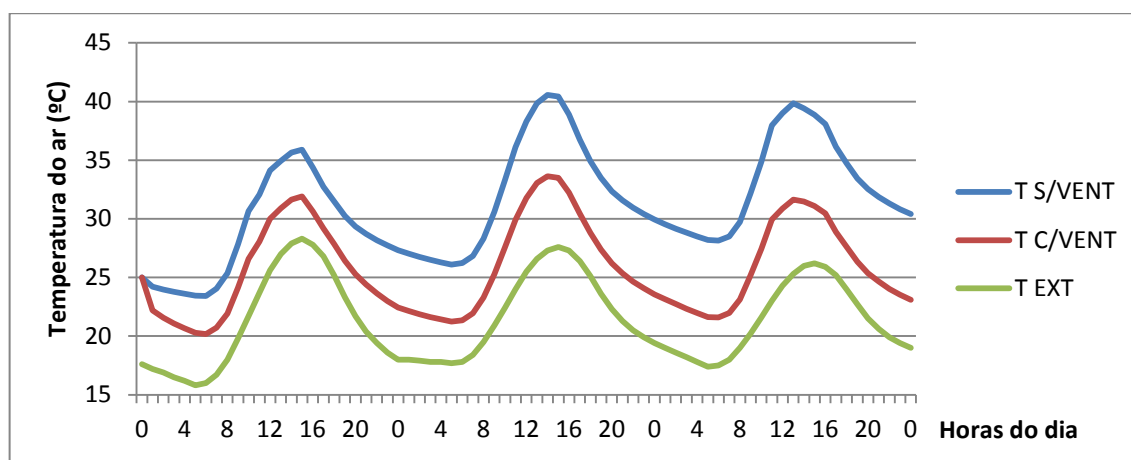
Gráfico 4.7: Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m^2

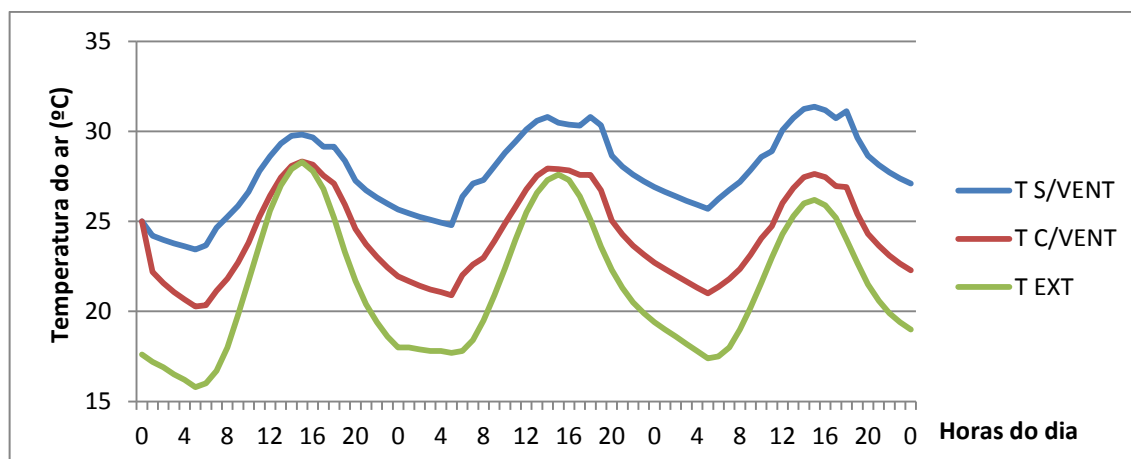
Num vão orientado a Oeste, pode-se ver que a temperatura exterior é sempre menor que a temperatura interior, quer utilizando a estratégia de ventilação, quer sem ventilação. A diferença de temperatura resultante da aplicação da ventilação é altamente visível na redução dos valores da temperatura interior. Contudo, a temperatura continua com valores desconfortáveis pois, estão acima dos 25°C causando perturbações nos utilizadores durante a maior parte do dia.

Gráfico 4.8: Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

Esta orientação assemelha-se bastante à anterior sendo que as conclusões retiradas são as mesmas divergindo em que, nesta orientação os picos de altas temperaturas são menores mas o tempo em que se sentem temperaturas acima dos 25°C é mais longo como podemos analisar ao comparar o Gráfico 4.7 e o Gráfico 4.8. Daqui, resulta então que provavelmente se irá ter mais graus-hora de desconforto para compartimentos orientados a Este.

A próxima orientação, Sul, segue as anteriores, no entanto podemos retirar do Gráfico 4.9 que esta, está sujeita a períodos de desconforto menores.

Gráfico 4.9: Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

Gráfico 4.10: Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

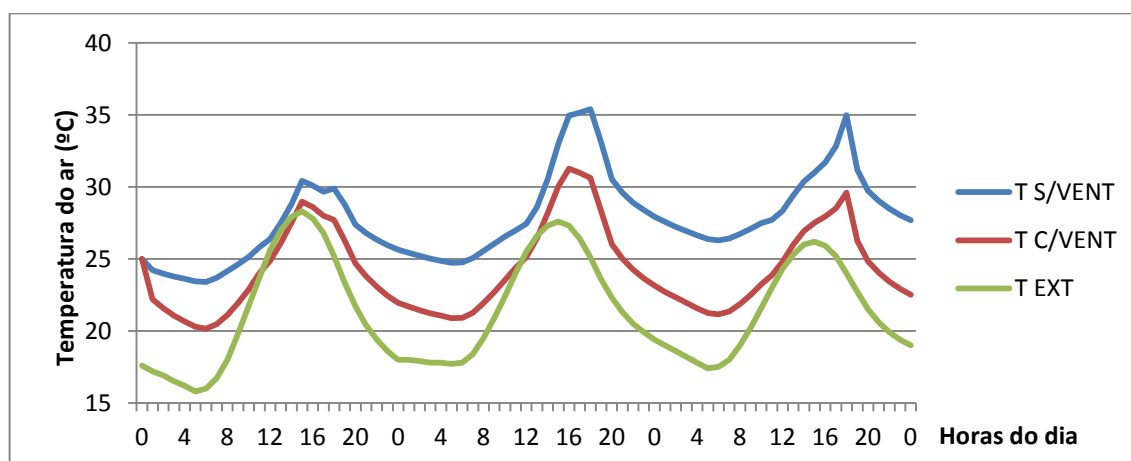
Quanto à orientação Norte, esta segue a mesma tendência das anteriores mas com uma diminuição dos picos das temperaturas e no tempo de desconforto bastante visível no Gráfico 4.10.

Só conseguimos ter temperaturas relativamente confortáveis para a orientação Norte que, mesmo assim chega a atingir os 28°C.

Não se quer com isto dizer que a melhor orientação para dispor um compartimento seja a Norte. Será feita mais à frente uma discussão sobre este assunto.

Trata-se agora do cenário EXFR6. O mesmo espaço, alterando apenas a proteção interior por uma proteção exterior já apresenta resultados mais favoráveis. Estes devem-se ao facto de o fator solar do vão com proteção, ser menor para proteções exteriores e maior para interiores resultando em maiores ganhos quando aplicamos a fórmula 8 já mencionada em 4.2.

Para este cenário, consegue-se em todas as orientações baixar notoriamente, os picos de temperatura atingidos em comparação com o caso anterior. Aqui, pode-se notar a importância do tipo de proteção utilizada.

Gráfico 4.11: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

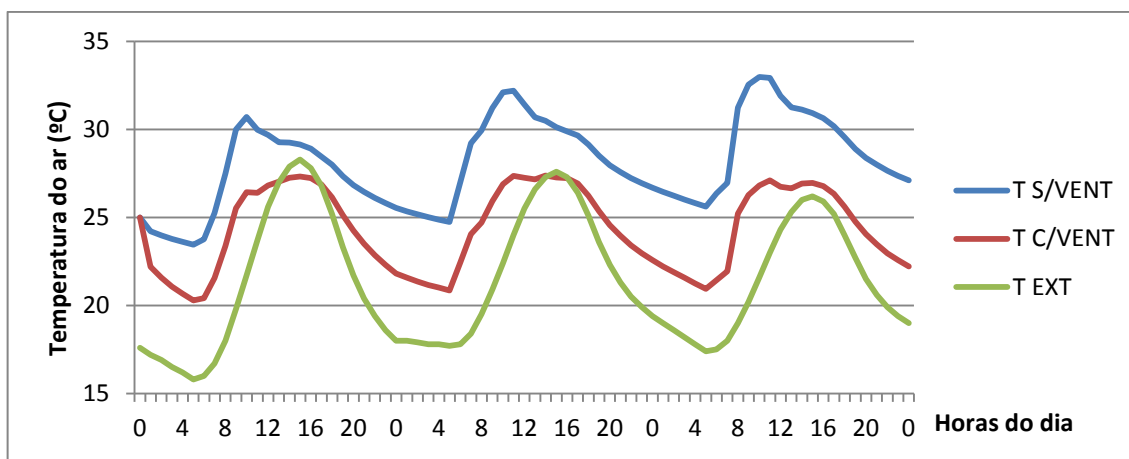


Gráfico 4.12: Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

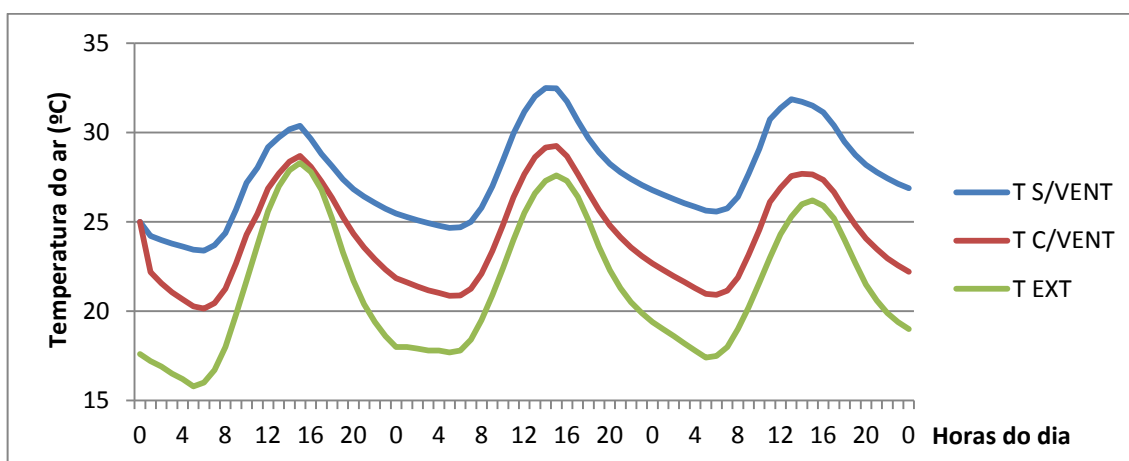


Gráfico 4.13: Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

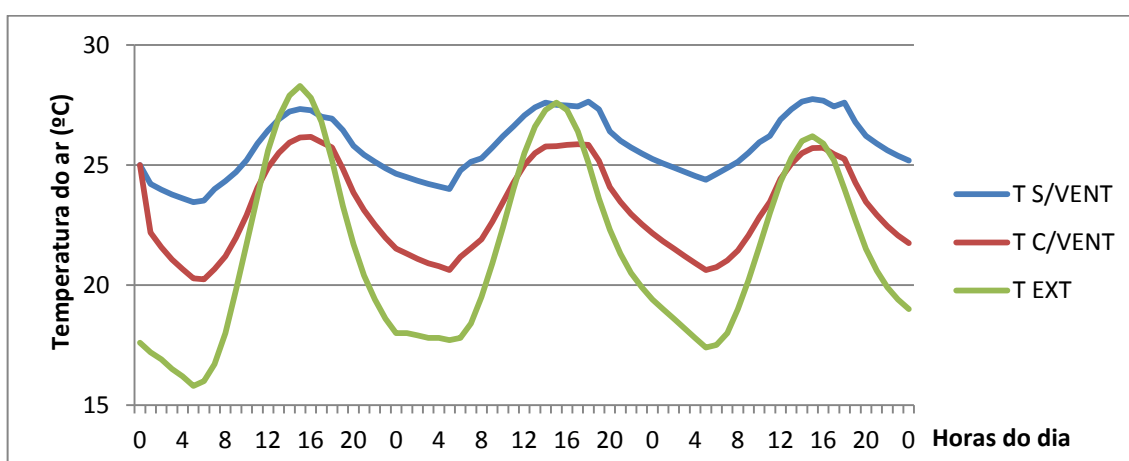


Gráfico 4.14: Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

Após a observação dos gráficos anteriores, pode-se verificar que neste cenário, a temperatura exterior ultrapassa a temperatura interior em algumas horas o que origina a interrupção da estratégia de ventilação adotada. Confirmam-se melhores resultados, contudo, este compartimento continua sujeito a temperaturas desconfortáveis. Com esta estratégia consegue-se baixar as temperaturas interiores para baixo dos 30°C à exceção da orientação Oeste onde se nota um pico na tarde do segundo dia.

Pode-se assim concluir que o tipo de dispositivo de proteção é bastante influente nas temperaturas atingidas proporcionando aos utilizadores um ambiente mais confortável.

Nestes dois primeiros cenários, podemos ver as grandes variações de temperatura devido à inércia fraca. Neste segundo cenário as temperaturas interiores seguem também as temperaturas exteriores como no primeiro caso.

Os próximos gráficos, Gráfico 4.15, Gráfico 4.16, Gráfico 4.17, Gráfico 4.18, expõem os resultados do melhor cenário. Trata-se do mesmo espaço mas com uma inércia forte e um envidraçado menor com proteção exterior, EXFO1. Neste caso pode-se atestar que a variação da temperatura interior é muito menor do que nos casos anteriores devido à inércia e à dimensão do vão. Verifica-se também que a certas horas a temperatura exterior é mais elevada que a temperatura interior sendo que nestas horas não se ventila pois a estratégia é ventilar apenas quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior daí a aproximação das temperaturas interiores, com e sem ventilação, nestas horas. Pode-se também confirmar que se obtém temperaturas menores quando se aplica a estratégia de ventilação. Neste caso a alteração da orientação não apresenta grandes variações nas temperaturas obtidas como podemos ver de seguida.

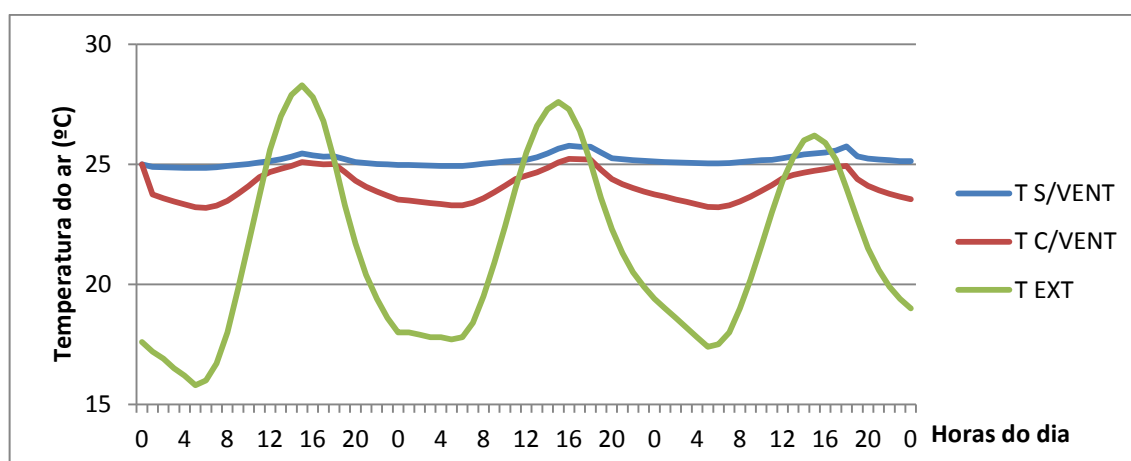


Gráfico 4.15: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

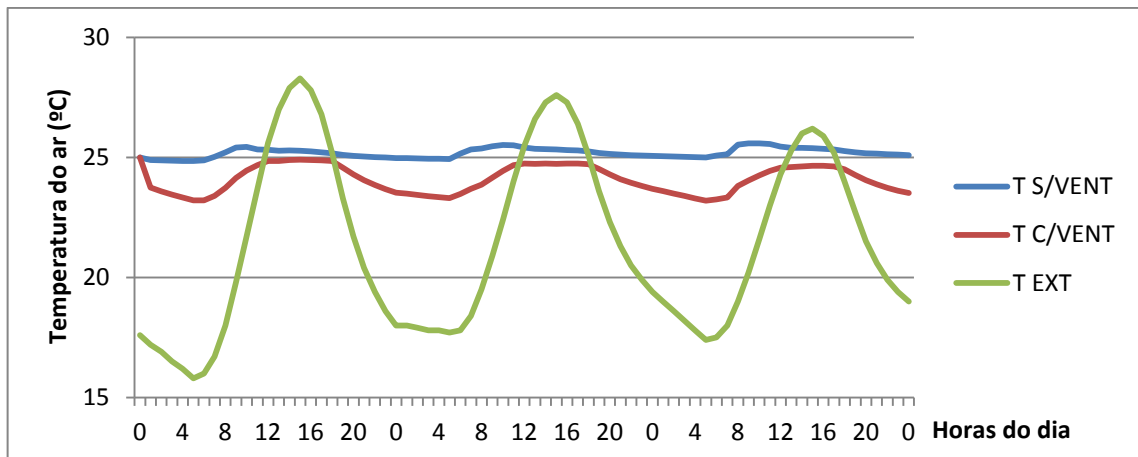


Gráfico 4.16: Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

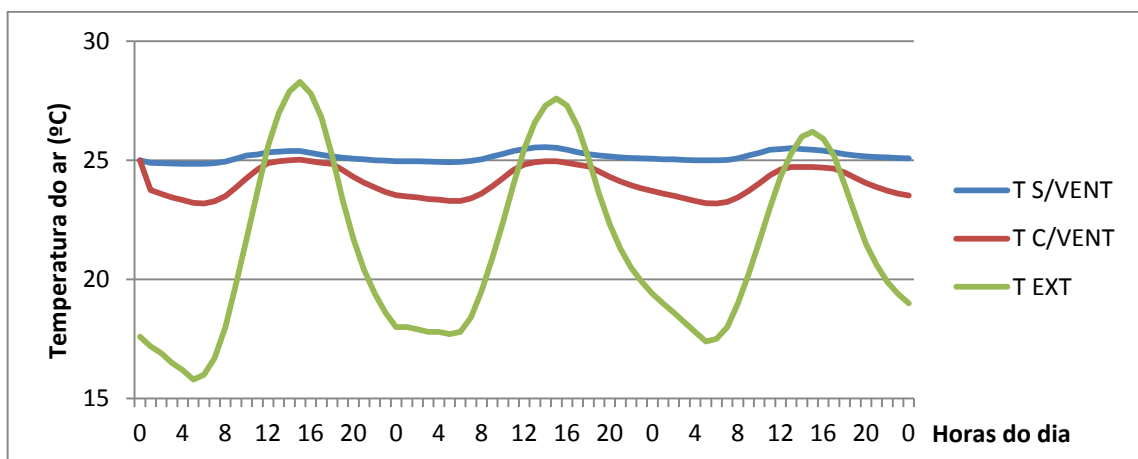


Gráfico 4.17: Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

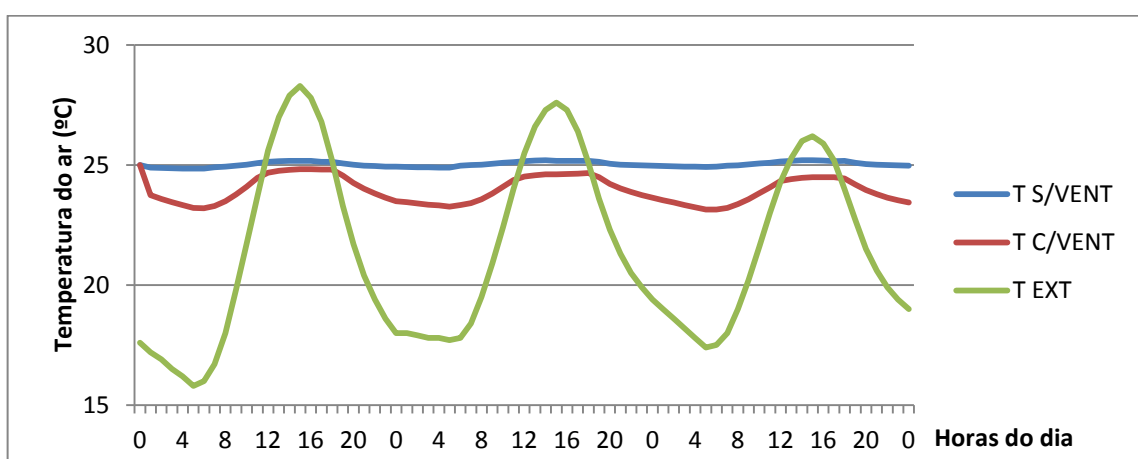


Gráfico 4.18: Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

Este cenário apresenta-nos temperaturas de conforto entre os 23°C e 25°C. Nota-se que os picos das temperaturas baixas reduzem mais do que as temperaturas altas quando se aplica a estratégia de ventilação. Isto deriva exatamente da estratégia adotada. Estes picos de temperatura acontecem quando a temperatura exterior é superior à temperatura interior, ou seja, não se está a ventilar. O que acontece é que nessas horas em que não se ventila a temperatura interior vai começar a aproximar-se da temperatura que o espaço atinge quando não há ventilação.

4.5.1.2. Graus-hora de Desconforto

De seguida procede-se à análise do parâmetro de desconforto escolhido também para o estudo deste trabalho, graus-hora de desconforto.

Para cada um destes cenários foram calculados os graus-hora de desconforto e também os graus-hora de desconforto acumulado para os três dias em análise, sendo este último o mais relevante. Interessa comparar os graus-hora acumulado para cada cenário com e sem ventilação e assim verificar a redução que esta estratégia proporciona em termos de conforto.

Na cidade do Porto, à exceção da orientação Norte, todas as outras orientações apresentam valores muito semelhantes na ordem dos 500 graus-hora de desconforto. Com aplicação da estratégia de ventilação os valores deste parâmetro reduzem em mais de 50%. A estratégia de ventilação é assim bastante eficiente na redução de graus-hora de desconforto a que os ocupantes estão sujeitos.

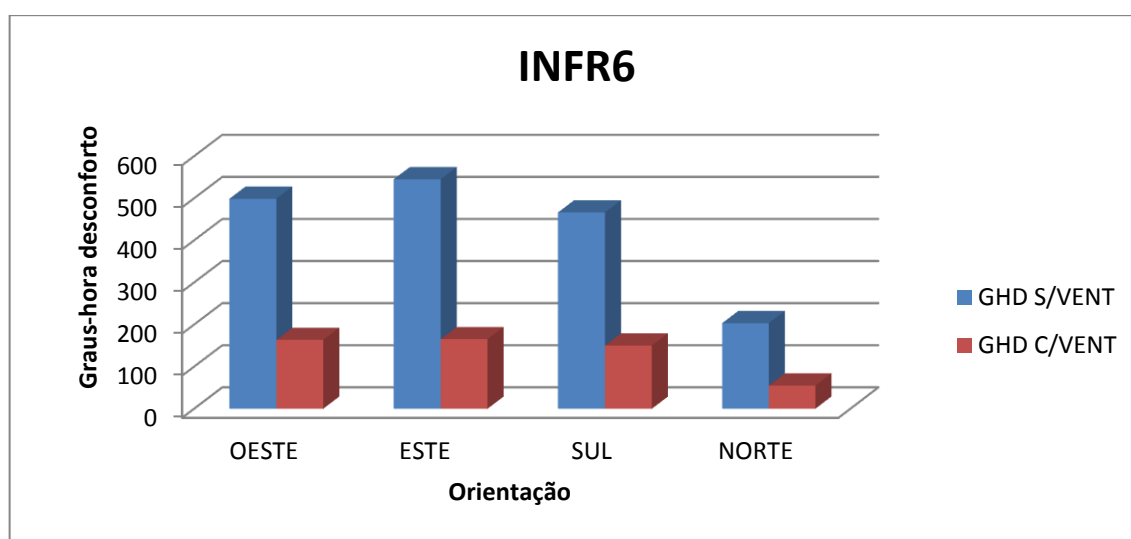


Gráfico 4.19: Graus-horas desconforto no cenário INFR6

Ao modificar o dispositivo de proteção de interior para exterior, consegue-se reduzir para mais de metade este parâmetro alcançando-se os 200 graus-hora de desconforto numa situação sem ventilação. Já com a estratégia de ventilação este valor ronda os 50 graus-hora de desconforto acumulado. Assim do cenário anterior para este consegue-se reduzir até um terço visto que o caso anterior atinge os 150 GHD AC.

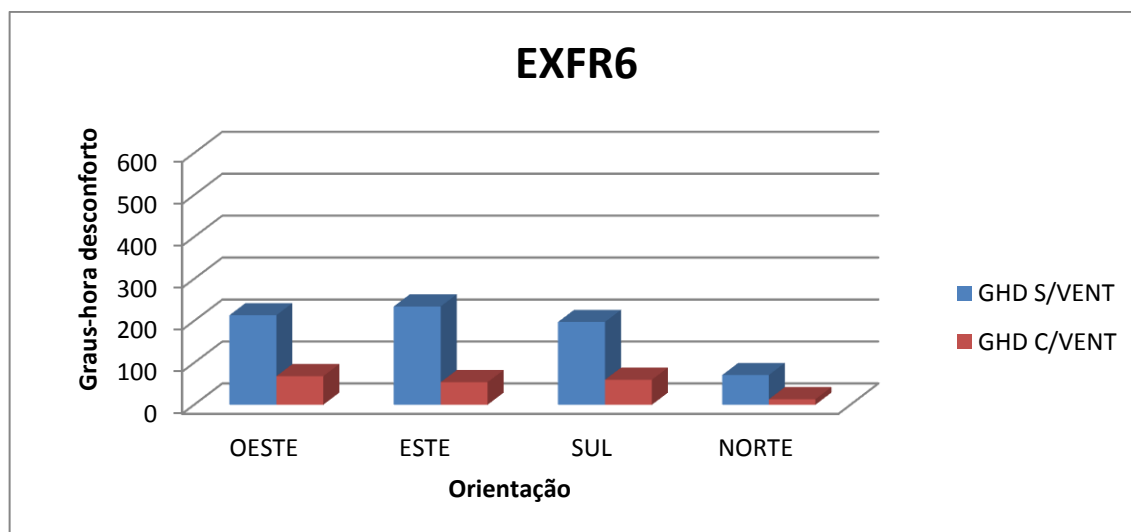


Gráfico 4.20: Graus-horas desconforto no cenário EXFR6

Para finalizar esta análise tem-se agora o cenário ótimo onde, sem ventilação se consegue resultados já muito bons. Empregando a ventilação praticamente não existem graus-hora de desconforto.

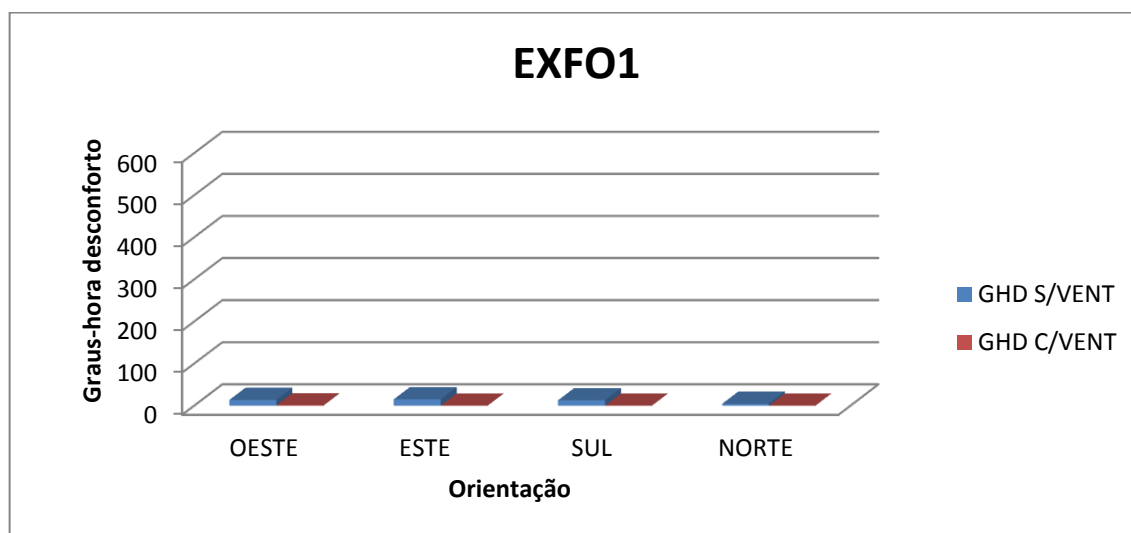


Gráfico 4.21: Graus-horas desconforto no cenário EXFO1

Pode-se então concluir que a estratégia de ventilação é bastante eficiente e a sua atuação evidencia-se bastante nos piores cenários pois é onde se pode reduzir bastante este parâmetro. Já neste último caso, Gráfico 4.21, a redução não é tão significativa mas, isto advém das variáveis deste cenário já serem as que fornecem melhores condições interiores no verão.

É também interessante observar a evolução deste parâmetro ao longo dos três dias. Para isso mostra-se no Gráfico 4.22 o progresso deste fator onde se analisa as horas de maior aumento de graus-hora de desconforto.

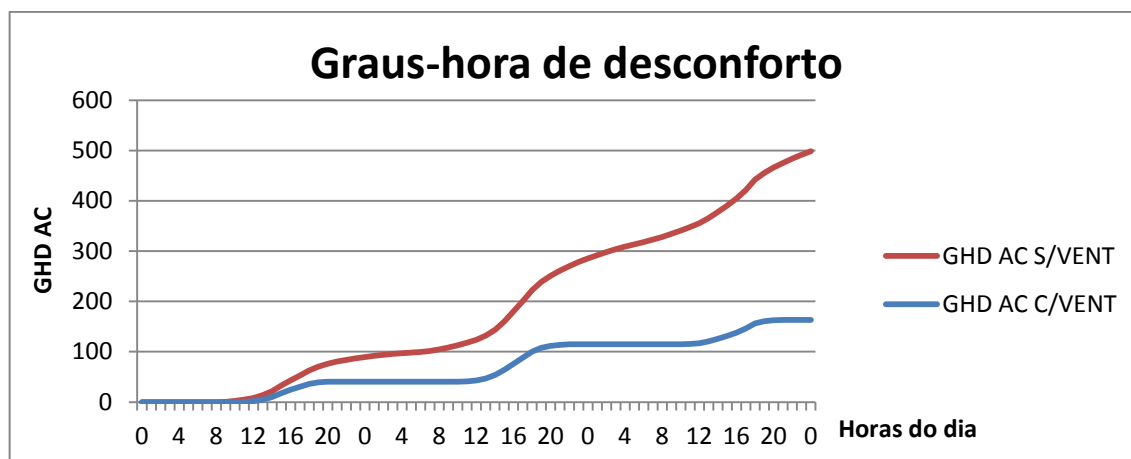


Gráfico 4.22: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m², proteção interior, Oeste

É possível ver que neste caso as maiores acumulações se dão no período da tarde. Isto acontece porque o Gráfico 4.22 diz respeito a um cenário orientado para Oeste. Num cenário orientado para Este, como se pode comprovar no Gráfico 4.23 as maiores acumulações de graus-hora acontecem durante a manhã.

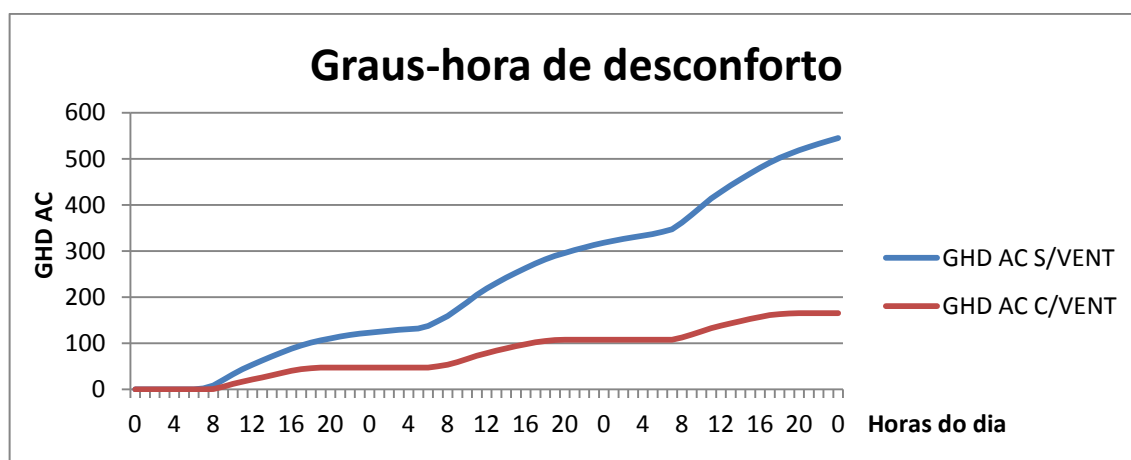


Gráfico 4.23: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m², proteção interior, Este

4.5.2. ÉVORA

4.5.2.1. Temperatura Interior

Vai-se agora proceder ao estudo dos mesmos cenários mas noutra localidade, Évora. As temperaturas de Évora variam entre os 20°C e os 35°C apresentando uma amplitude térmica significativa de 15°C.

Nos gráficos que se seguem, procede-se à análise do cenário INFR6, para as diferentes orientações. Note-se que a temperatura exterior não é sempre menor que a temperatura interior, contrariamente ao que acontece no Porto.

À exceção da orientação Norte, as temperaturas atingidas sem ventilação são completamente insuportáveis. A ventilação é absolutamente preciosa para se conseguir usufruir de espaços nestas condições. Mesmo com a estratégia de ventilação, no Gráfico 4.24, chega-se a ultrapassar os 40°C, o que é totalmente impensável e insuportável de aguentar quando se precisa de condições confortáveis para certas atividades.

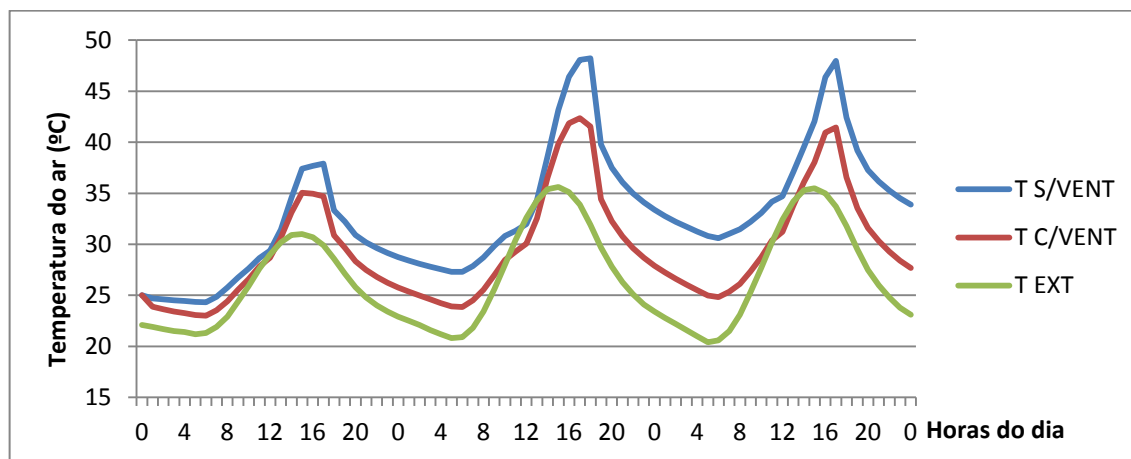


Gráfico 4.24: Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

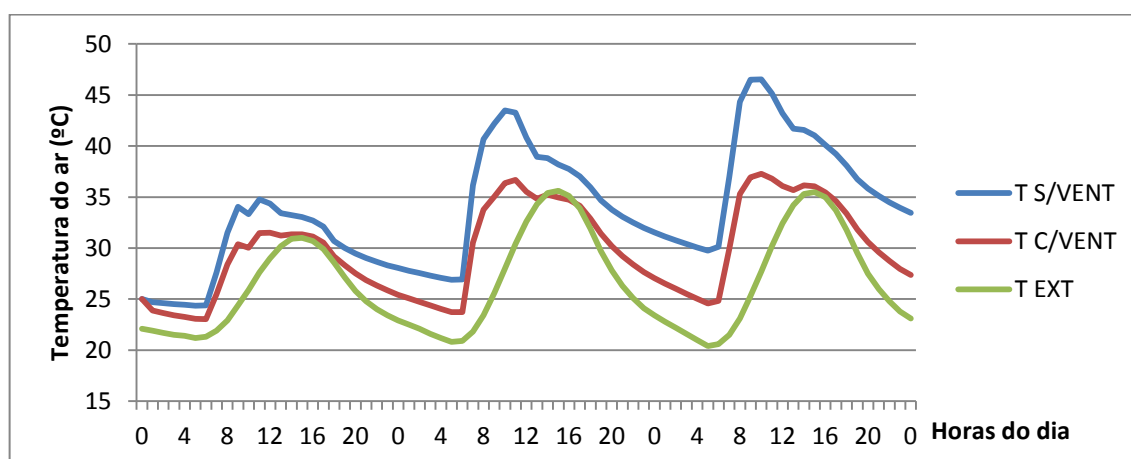


Gráfico 4.25: Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

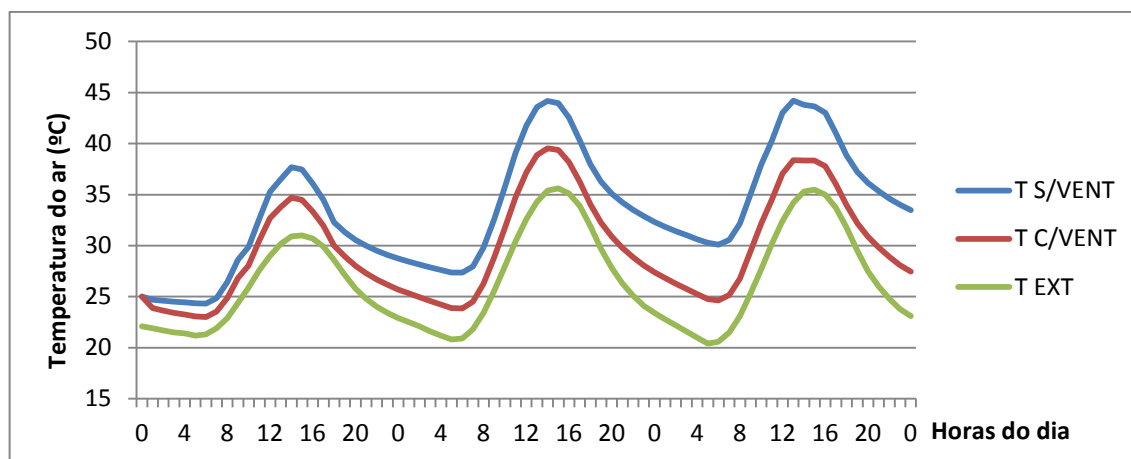


Gráfico 4.26: Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

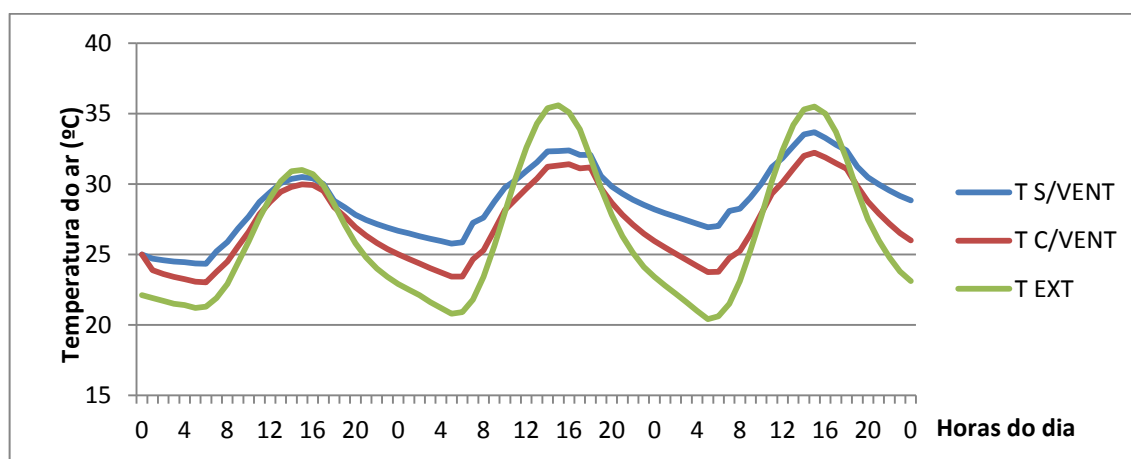


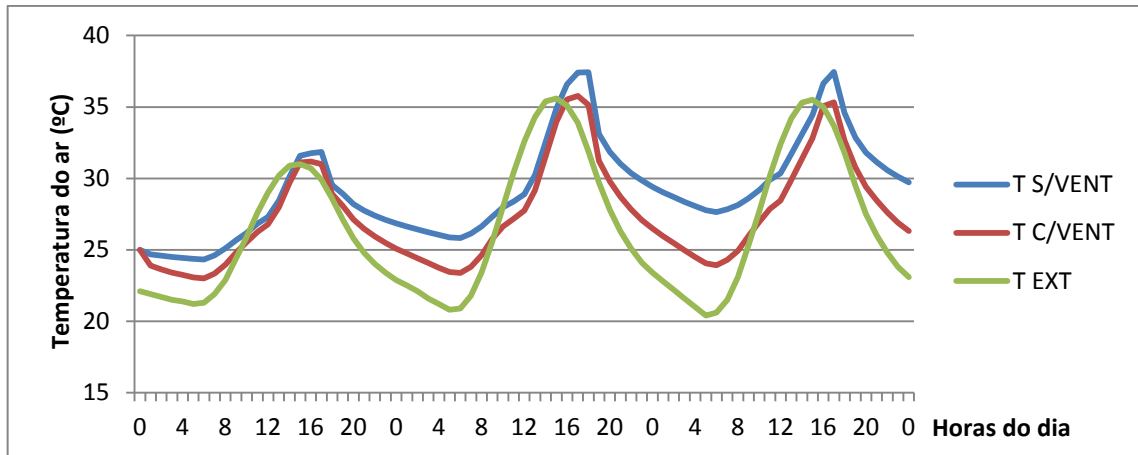
Gráfico 4.27: Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

Ao contrário do que acontece no Porto, em Évora, para este cenário, a temperatura exterior sobrepõe-se à temperatura interior durante o dia o significa que nessas horas não há ventilação, no entanto a temperatura interior revela-se “mais suportável” do que a temperatura exterior.

É perfeitamente visível, que este cenário se comporta melhor no Porto do que em Évora, ou seja, esta estratégia de ventilação é mais eficaz no Porto.

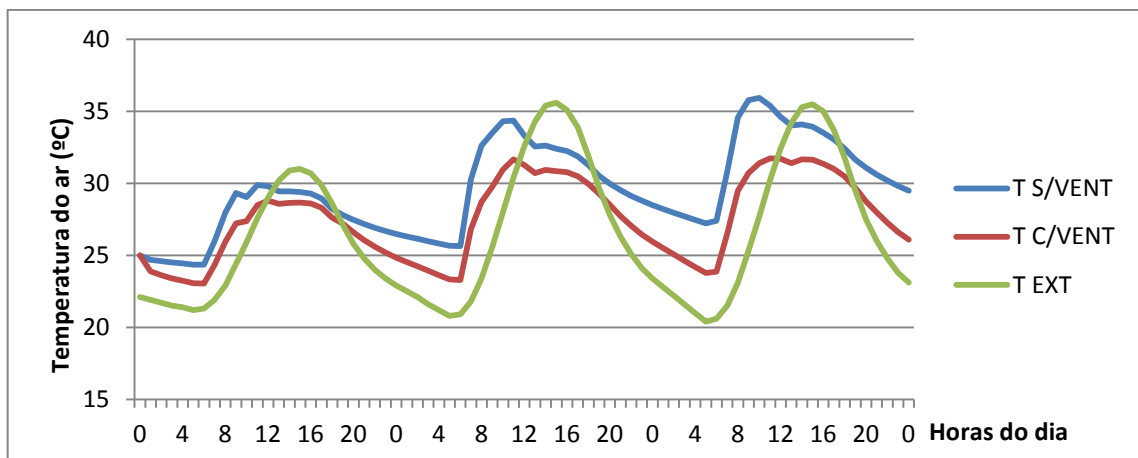
Até a orientação Norte, que no Porto é a que proporciona melhores temperaturas, em Évora revela-se também muito desagradável.

Para o cenário EXFR6, aplicando a estratégia de ventilação, tem-se os seguintes resultados para as diferentes orientações.

Gráfico 4.28: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

Este cenário comporta-se bastante melhor que o anterior. No entanto, a estratégia adotada não se revela muito eficaz no que toca aos picos das temperaturas altas pois a redução da temperatura não é tão significativa como no Porto.

O mesmo acontece para a orientação Este e Sul, Gráfico 4.29 e Gráfico 4.30 respetivamente. Em Este ainda se reduz a temperatura interior face à exterior mas, em Sul, a temperatura interior alcançada, com ou sem ventilação é praticamente a mesma que a temperatura exterior.

Gráfico 4.29: Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

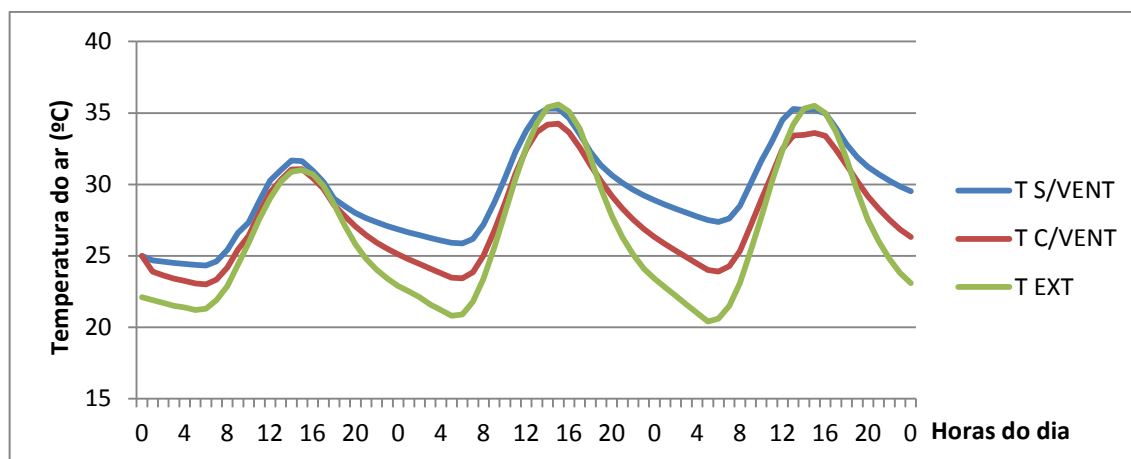


Gráfico 4.30: Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

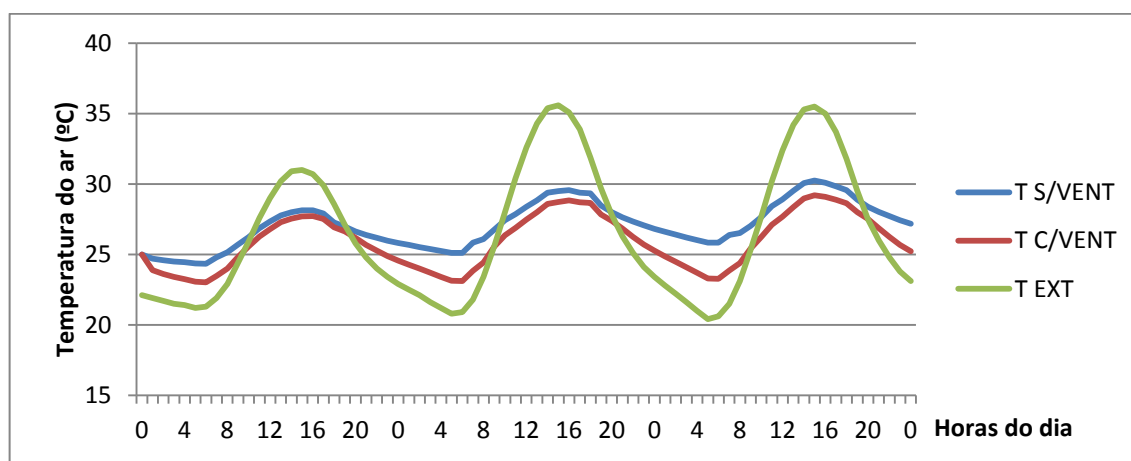


Gráfico 4.31: Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

Esta orientação apresenta um comportamento muito similar ao do cenário anterior, baixando relativamente todas as temperaturas interiores. Porém, confrontando estes resultados com os obtidos no Porto, as temperaturas obtidas são melhores do que em Évora.

De seguida apresentam-se os resultados obtidos para o melhor cenário, EXFO1. Como já aconteceu no Porto, também em Évora a alteração da orientação para este caso não traz grandes diferenças nas temperaturas interiores. Em Évora, as flutuações da temperatura interior são ainda menores do que no Porto, onde apresentam uma variação de 2°C.

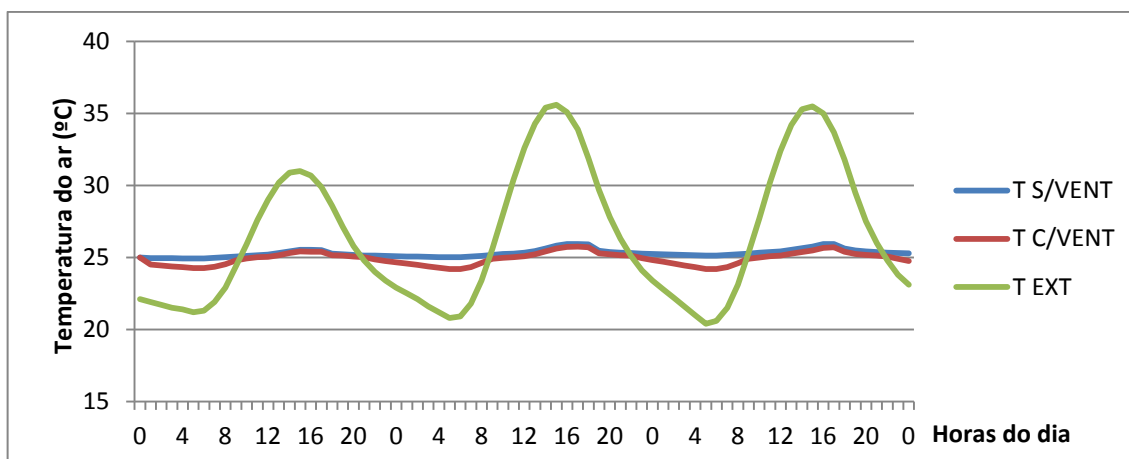


Gráfico 4.32: Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

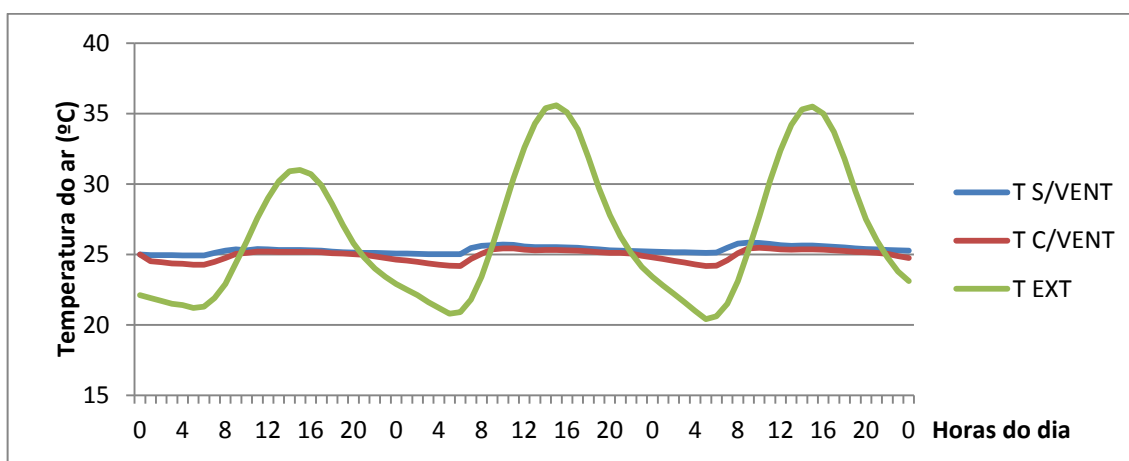


Gráfico 4.33: Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

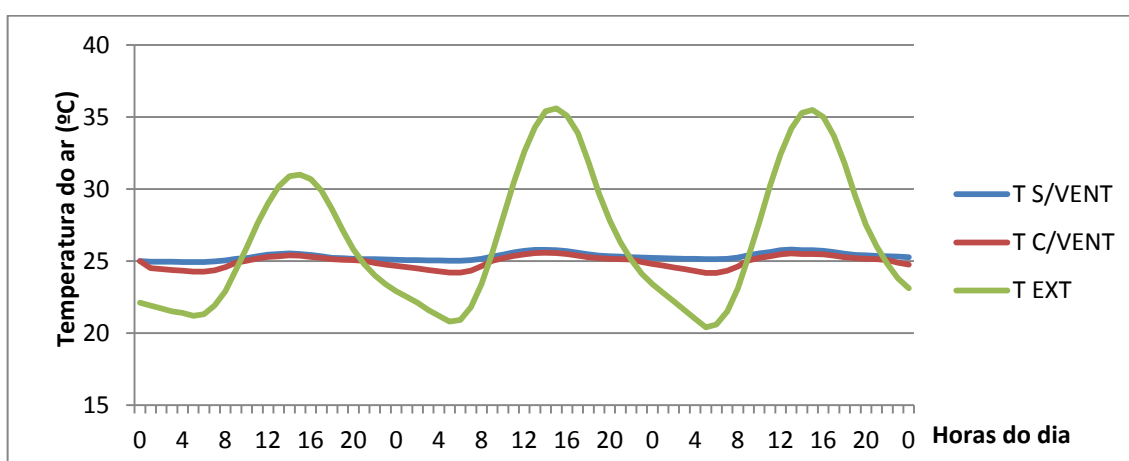
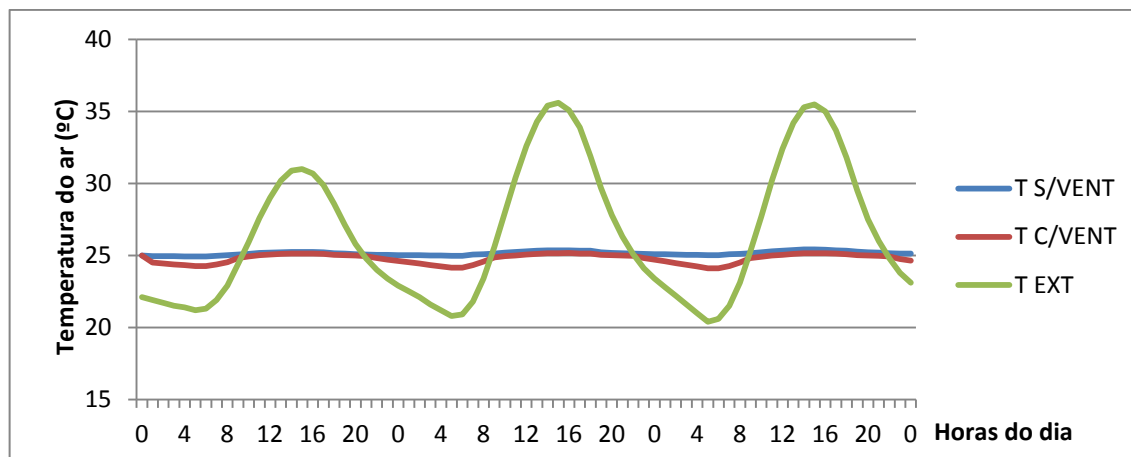


Gráfico 4.34: Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

Gráfico 4.35: Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

Pode-se reparar que neste cenário as temperaturas interiores não acompanham as flutuações das temperaturas exteriores devido à inércia forte, tal como já aconteceu no Porto. A construção de edifícios com inércia forte é muito eficiente para se conseguir um ambiente interior agradável.

4.5.2.2. Graus-hora de Desconforto

Nos próximos gráficos, um para cada um dos três cenários analisados, Gráfico 4.36 referente ao cenário com inércia fraca, dispositivo de proteção interior e envidraçado maior, Gráfico 4.37 onde se altera apenas o dispositivo de proteção para exterior em relação ao caso anterior e Gráfico 4.38 relativo ao cenário com inércia forte, envidraçado menor e proteção exterior, pode-se comparar a influência da ventilação no resultado dos graus-hora de desconforto acumulado para cada orientação.

Os valores elevados deste parâmetro no Gráfico 4.36 devem-se essencialmente à fraca inércia que permitiu temperaturas interiores elevadas resultando no aumento dos valores deste critério. Da análise do gráfico pode-se retirar que todas as orientações, quando não se pratica a ventilação, estão sujeitas a imensos graus-hora de desconforto. Com a aplicação da estratégia a quantificação deste parâmetro é reduzido quase em 50%. Comparando este cenário nas duas localidades, nota-se que o efeito da ventilação é mais eficaz no Porto do que em Évora.

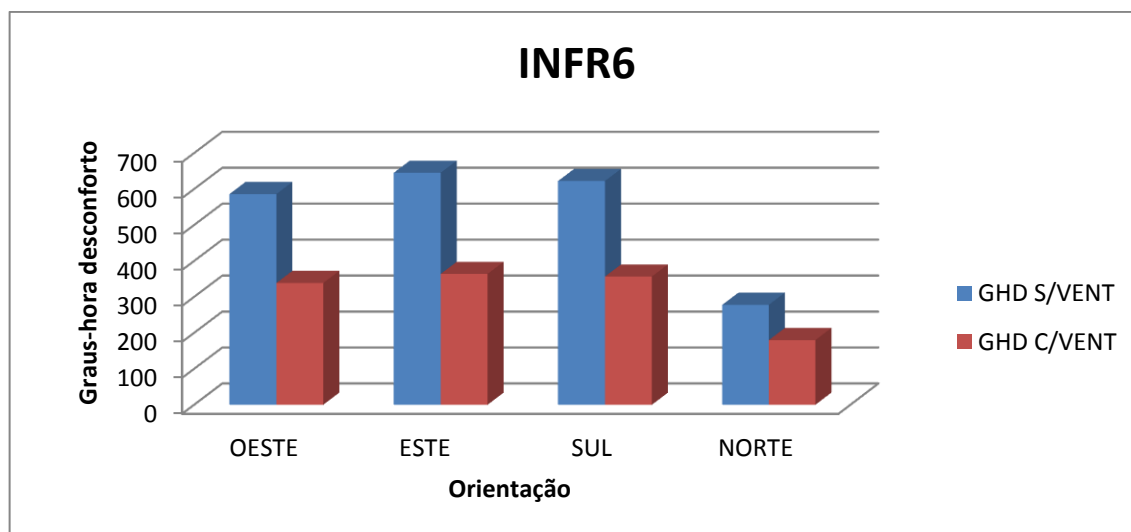


Gráfico 4.36: Graus-horas desconforto acumulado no cenário INFR6

No Gráfico 4.37, tem-se resultados menos eficientes do que no caso anterior. A redução dos graus-hora não é tão significativa quando aplicada a estratégia de ventilação. Contudo, os resultados por si só já são melhores. Comparativamente com o Porto, embora haja uma maior diminuição com a aplicação da ventilação, os resultados aquando a utilização da ventilação são melhores pois não sujeitam os ocupantes a ambientes desconfortantes.

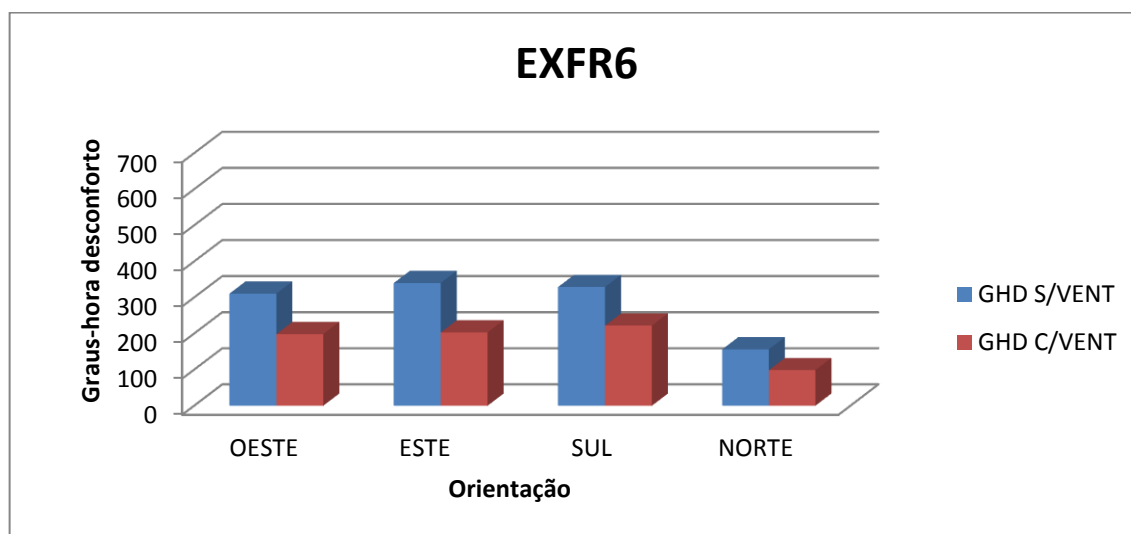


Gráfico 4.37: Graus-horas desconforto acumulado no cenário EXFR6

No Gráfico 4.38 vê-se plenamente os bons resultados face aos cenários anteriores. Neste cenário os utilizadores não estão sujeitos nem a 25 graus-hora de desconforto e quando se ventila este valor diminui para metade. Este cenário quando analisado no Porto e recorrendo à estratégia de ventilação chega a não ter graus-hora de desconforto para as orientações Este e Norte.

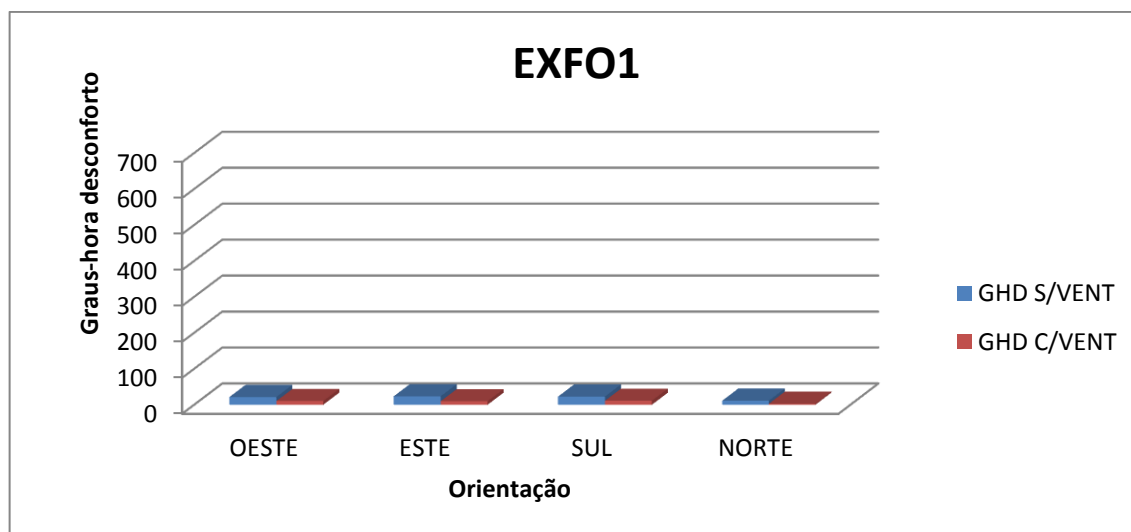


Gráfico 4.38: Graus-horas desconforto acumulado no cenário EXFO1

Analogamente ao que se fez para o Porto, vai-se expor aqui também dois gráficos que permitem visualizar a evolução deste fator ao longo dos três dias.

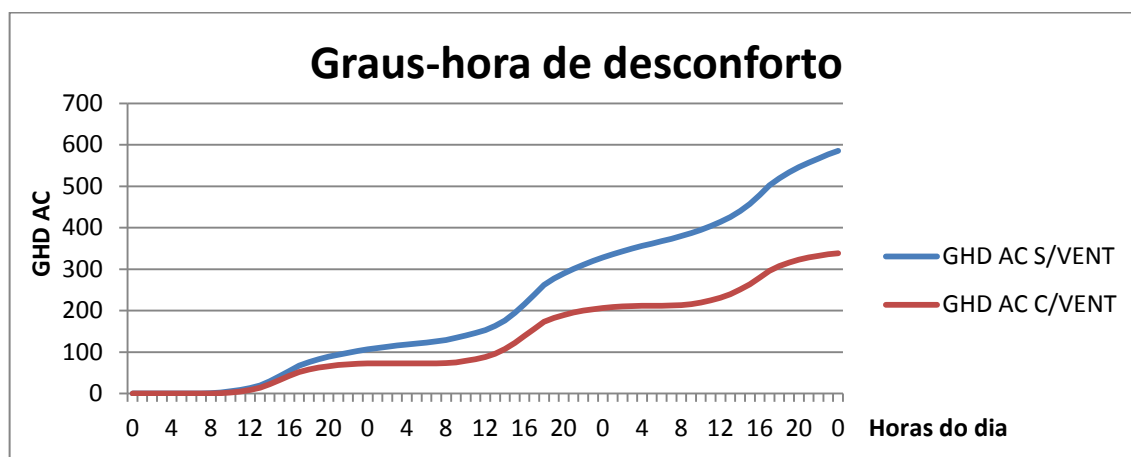


Gráfico 4.39: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m², proteção interior, Oeste

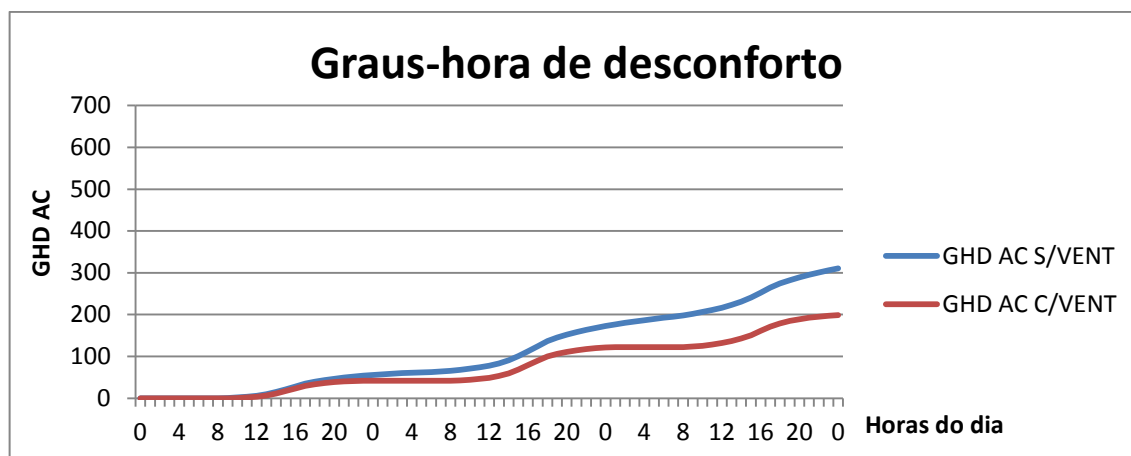


Gráfico 4.40: Desenvolvimento dos GHD AC ao longo dos 3 dias num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m², proteção exterior, Oeste

Os gráficos anteriores referem-se à mesma orientação mas para cenários diferentes, onde se altera apenas o dispositivo de proteção de interior para exterior. Como se pode observar, no Gráfico 4.39 a acumulação dos graus-hora nas horas mais críticas é mais considerável do que no Gráfico 4.40.

4.5.3. RELAÇÃO ÁREA DE ENVIDRAÇADO/ÁREA DE PAVIMENTO

Embora não tenha sido estudado o compartimento maior devido às razões já descritas em 4.3.2, quando nesse compartimento se iguala a percentagem da razão $\frac{A_{env}}{A_{pav}}$ à percentagem do compartimento pequeno, os resultados são outros. No Gráfico 4.41 pode-se observar que as temperaturas atingidas no compartimento maior apresentam picos de temperaturas mais altos do que no compartimento menor. Compare-se o Gráfico 4.41 com o Gráfico 4.3.

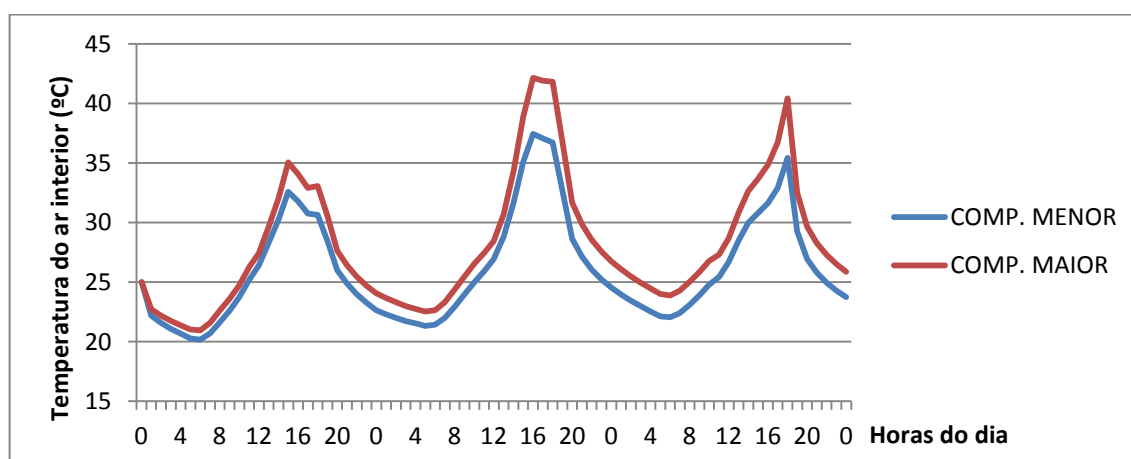


Gráfico 4.41: Comparação da mesma percentagem da relação A_{env}/A_{pav} em compartimentos de dimensões diferentes (cenário POINFR6)

Para um compartimento maior ter a mesma percentagem da relação $\frac{A_{env}}{A_{pav}}$ que um compartimento menor, este vai ter um envidraçado muito maior. Daqui, resulta que para este caso, nestas proporções geométricas, as temperaturas vão ser mais elevadas.

4.5.4. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE

A ferramenta de cálculo utilizada no estudo paramétrico fornece a temperatura da parede o que permitiu a análise da influência da temperatura média radiante na temperatura operativa sentida pelos utilizadores. Decidiu-se analisar o seu comportamento em duas situações distintas representadas e analisadas a seguir.

4.5.4.1. Inércia Fraca

Num espaço com inércia fraca, a temperatura média radiante não é marcante pois os materiais envolventes não têm capacidade de armazenamento de energia e não conservam o calor. Assim, a temperatura operativa vai ser quase coincidente com a temperatura do ar interior como se pode ver no Gráfico 4.42.

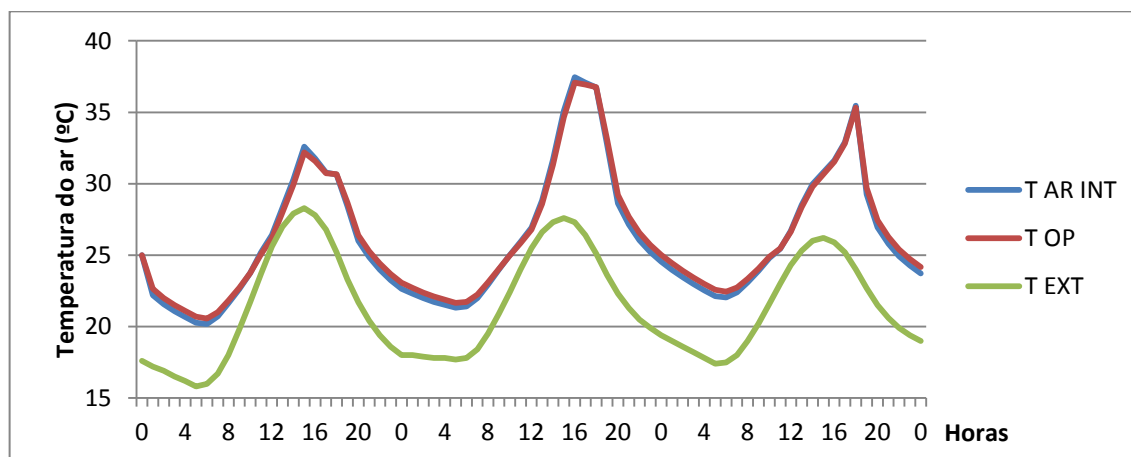


Gráfico 4.42: Análise da temperatura operativa num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m², proteção interior, Oeste, Porto

4.5.4.2. Inércia Forte

A partir da análise do Gráfico 4.43, vê-se que a temperatura operativa difere da temperatura do ar interior. Pode-se registar que para os valores baixos, a temperatura operativa é maior e para os picos mais altas esta é menor. Esta situação advém exatamente de se estar a trabalhar com inércia forte. Nas horas em que a temperatura baixa, os materiais libertam o calor por radiação influenciando o conforto dos ocupantes.

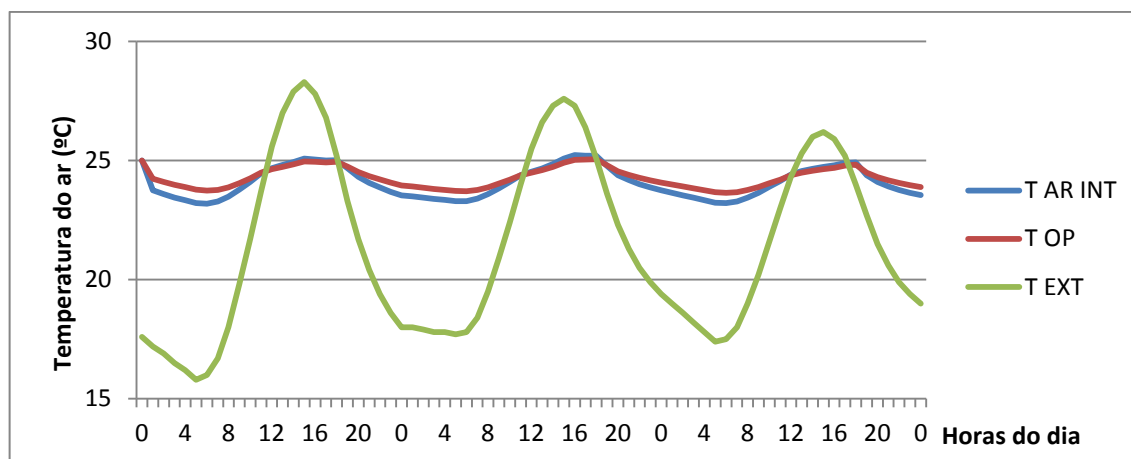


Gráfico 4.43: Análise da temperatura operativa num cenário com inércia forte, envidraçado 1,8m², proteção exterior, Oeste, Porto

4.5.5. EFICÁCIA DA VENTILAÇÃO NOTURNA

Para a análise deste trabalho optou-se por uma estratégia de ventilação que consiste em ventilar sempre que a temperatura exterior é menor que a temperatura interior. No entanto, sabe-se que a aplicação desta estratégia só seria possível com a existência de sensores e meios mecânicos de ativação. Como tal não acontece, os utilizadores só vão ventilar as suas casas durante o período noturno. Aqui entra o papel da ventilação noturna. Através dos resultados obtidos vai-se fazer uma análise à contribuição que esta fornece para o arrefecimento das habitações.

A seguir temos a evolução das temperaturas em dois cenários onde apenas se altera a inércia de um caso para o outro. O Gráfico 4.44 representa o cenário com inércia forte, a redução nas horas noturnas ronda os 2°C enquanto durante o período diurno as variações dos picos com a aplicação da ventilação não chegam a 1°C.

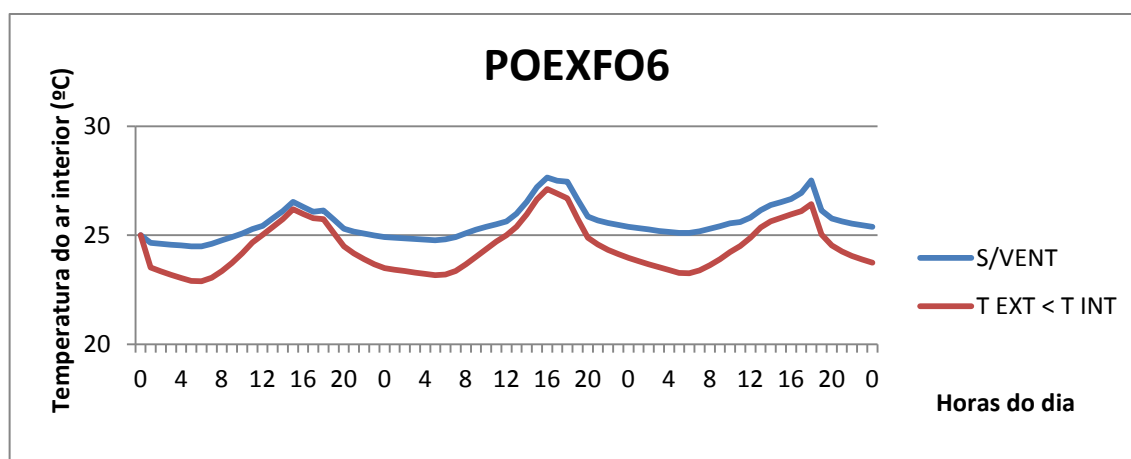


Gráfico 4.44: Eficácia da ventilação noturna num cenário com inércia forte, envidraçado 6m², proteção exterior, Oeste, Porto

No Gráfico 4.45 temos uma redução mais elevada nos picos de temperatura do período noturno que chegam a variações de 5°C. Esta é já uma redução significativa que proporciona o bem-estar dos

utilizadores. No entanto durante o dia, devido à fraca inércia, as temperaturas situam-se entre os 25°C e 30°C enquanto no cenário anterior esta não ultrapassa os 28°C.

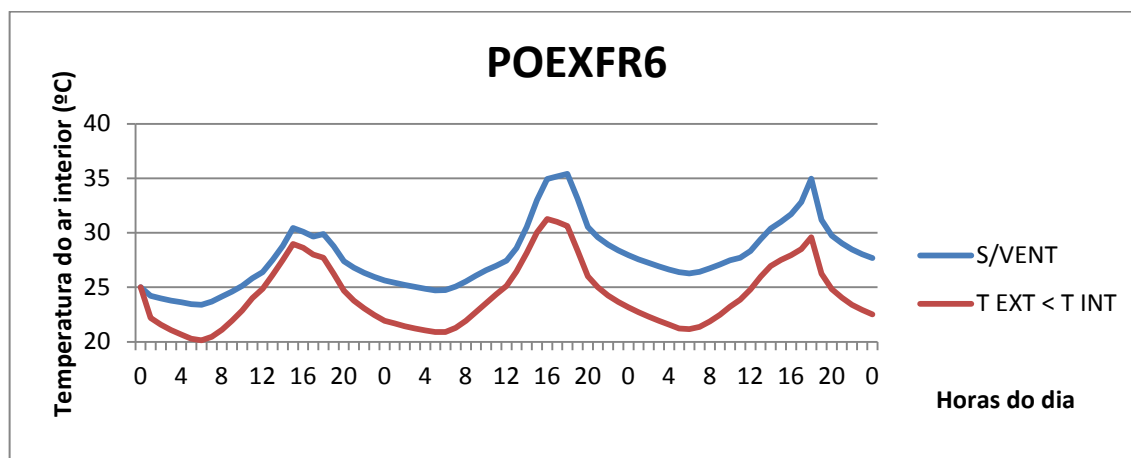


Gráfico 4.45: Eficácia da ventilação noturna num cenário com inércia fraca, envidraçado 6m², proteção exterior, Oeste, Porto

Obviamente, a eficácia da ventilação noturna vai depender das amplitudes térmicas que ocorrerem, criando uma maior ou menor diferença entre a temperatura exterior e a temperatura interior.

4.6. REFLEXÕES GERAIS

O Gráfico 4.46 expõe 4 cenários de modo a permitir a reflexão sobre o grau de importância de cada variável, inércia, dimensão do envidraçado e dispositivo de proteção, mantendo a mesma estratégia de ventilação ($t_{ext} < t_{int}$; $rph=4$).

Focando na evolução de POEXFO1, que é o cenário mais favorável devido às temperaturas que atinge e à fraca amplitude térmica, com a alteração das variáveis as temperaturas diurnas começam a aumentar. A alteração do envidraçado provoca um maior aumento das temperaturas face à alteração do dispositivo de proteção. A redução da inércia vai aumentar a amplitude térmica.

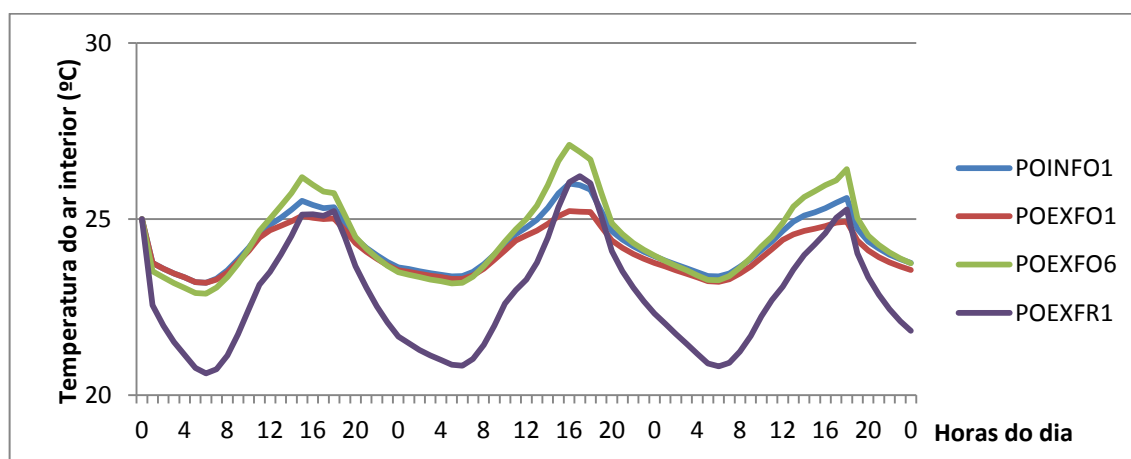


Gráfico 4.46: Influência da alteração das variáveis na evolução das temperaturas do ar interior

Observando agora um caso de inércia fraca, Gráfico 4.47, e focando em POEXFR1 confirma-se que ao alterar o dispositivo de proteção e a dimensão do envidraçado as temperaturas durante o dia aumentam, e de forma mais acentuada quando se altera a dimensão do vão. Com a alteração da inércia consegue-se diminuir as temperaturas diurnas mas há uma subida das temperaturas noturnas não sendo esta relevante pois não ultrapassam os 25°C.

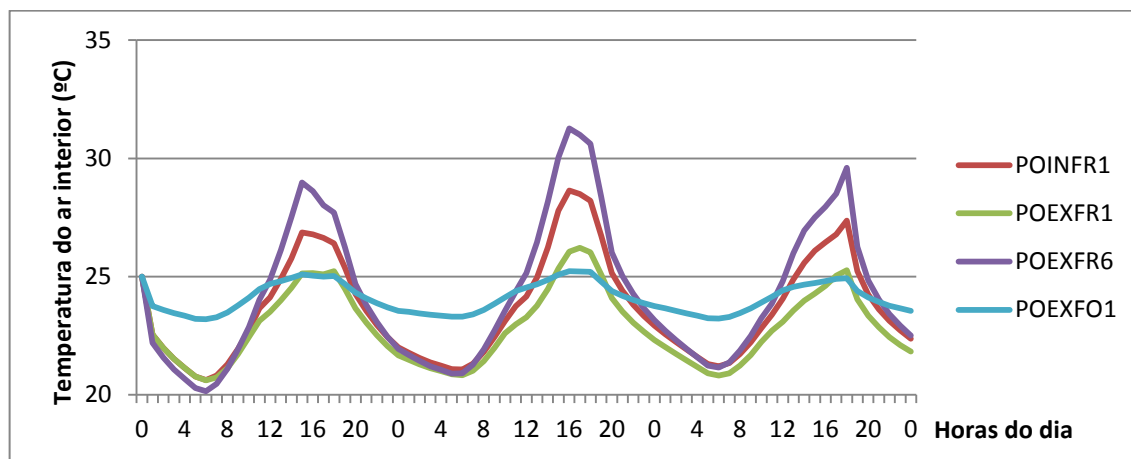


Gráfico 4.47: Influência da alteração das variáveis na evolução das temperaturas do ar interior

Com estes dois gráficos consegue-se provar que a dimensão do vão é mais influente que o tipo de dispositivo de proteção, pois para ambos os cenários a sua alteração revelou-se mais desfavorável.

Quanto à inércia, pode-se reparar as diferenças visíveis na amplitude térmica, flutuações maiores para inércia fraca e temperaturas pouco variáveis com inércia forte.

A variável mais influente é a inércia, basta reparar nas temperaturas alcançadas nos dois gráficos e atestar que para uma inércia fraca, se ultrapassam os 30°C, enquanto que, para uma inércia forte se alcançam os 27°C.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

Pretende-se neste capítulo sintetizar os resultados obtidos e tirar conclusões capazes de auxiliar na projeção dos edifícios e assim esperar um maior desempenho dos mesmos.

O potencial de arrefecimento por ventilação depende tanto de variáveis exteriores ao edifício (como por exemplo, das amplitudes térmicas exteriores) como de condições do próprio edifício. Assim, a ventilação é mais ou menos eficaz em função de certas variáveis. Para uma inércia fraca, o potencial de arrefecimento através da ventilação no verão é geralmente maior do que para um espaço com inércia forte.

Como já se pôde analisar em 4.5.1 e 4.5.2, nota-se significativamente que em termos de temperaturas elevadas atingidas nos dois primeiros cenários, a orientação mais desfavorável é a Oeste e a mais favorável é a Norte. Já no último caso a orientação não influencia sendo os resultados muito semelhantes. Conclui-se que o cenário que se comporta melhor é o que tem um envidraçado menor o que contraria as tendências da aplicação dos grandes vãos envidraçados. Também o tipo de proteção tem um grande efeito nos resultados obtidos sendo a proteção exterior muito mais eficaz que a interior. Claramente o fator mais importante é a classe de inércia, esta conduz às maiores alterações nas temperaturas interiores, dependendo sempre da ventilação que é determinante para a diminuição das temperaturas do ar interior.

O clima de Évora torna os resultados obtidos mais desfavoráveis face ao clima do Porto. As temperaturas interiores atingidas em Évora são mais elevadas do que no Porto causando um elevado desconforto nos ocupantes. Pode concluir-se assim que a utilização da ventilação apresenta muita mais eficácia no Porto do que em Évora.

Numa abordagem mais ampla, vai-se agora fazer uma observação geral relativa aos cenários selecionados onde se procede à análise mais aprofundada no destaque e relevância que têm a dimensão do vão envidraçado, a classe de inércia e tipo de dispositivo de proteção, no entanto, a influência da proteção aumenta com o aumento da dimensão do vão.

Assim sendo, seguem-se as seguintes reflexões:

Para inércia forte e envidraçado pequeno, as temperaturas para os diferentes dispositivos de proteção andam muito próximas havendo apenas uma pequena diferença nas temperaturas mais elevadas onde, como já era de esperar, a proteção interior é mais desfavorável que a exterior.

Para inércia forte e envidraçado grande o tipo de proteção já traz pequenas alterações às temperaturas, ao contrário do que acontece quando temos um vão menor, tanto com proteções exteriores como interiores.

Em síntese, para inércia forte, a alteração de um dispositivo de proteção de exterior para interior, as variações de temperatura são maiores para grandes vãos do que para envidraçados menores. Já quando se altera o envidraçado o tipo de dispositivo não é relevante.

Para inércia fraca e envidraçado pequeno, o dispositivo de proteção já tem maior influência do que com inércia forte. Sendo a proteção interior o caso mais gravoso.

Para inércia fraca e grandes vãos, o tipo de proteção tem bastante influência nas temperaturas mais elevadas. Este cenário, tanto com proteção interior como exterior, apresentam grandes amplitudes térmicas, são estes os cenários com as maiores diferenças de temperatura o que provoca um ambiente desconfortável para os utilizadores, consequentemente, estes foram escolhidos como os piores cenários.

Em suma, para inércia fraca com a alteração do vão temos maiores variações para dispositivos de proteção interior do que exterior e, com a alteração do dispositivo de proteção as flutuações de temperatura são maiores para envidraçados grandes do que pequenos.

Pode-se portanto transmitir que a variável mais relevante é a inércia, seguida da dimensão do envidraçado e por fim o dispositivo de proteção, sempre assistidos pela ventilação.

Com isto, não se tem de construir habitações só com inércia forte, pequenos vãos e proteções exteriores, mas obviamente como se viu durante esta tese também não se deve combinar uma inércia fraca com proteções interiores e grandes envidraçados. A combinação de uma variável desvantajosa com uma variável mais favorável pode também trazer ambientes interiores de conforto.

A partir do Gráfico 4.1 e Gráfico 4.2, é possível ver a combinação destas variáveis e assim perceber quais os cenários a seguir e também aqueles que devemos excluir logo à partida. Estes gráficos são relativos à orientação Oeste, contudo, nas restantes orientações temos comportamentos similares mas sempre com picos de temperaturas menos gravosos.

Como se conclui, a orientação Norte é a que promove melhores temperaturas no verão. No entanto, a orientação para a colocação de envidraçados não deve ser esta pois também temos de pensar na estação de aquecimento onde se tem todo o interesse em aumentar os ganhos solares. Assim, Sul mostra ser a orientação mais apropriada para a aplicação de vãos quando conjugada com elementos de sombreamento eficientes.

Como se vê na Figura 2.1 exposta em 2.2.2.2, no verão o ângulo da altura do sol é mais elevado do que no Inverno, atingindo o seu valor máximo para a orientação Sul. Assim, no verão com a utilização de palas horizontais consegue-se atenuar os ganhos solares nas horas de maior calor e no Inverno estas palas não vão obstruir a incidência da radiação nos envidraçados.

Numa fachada orientada a Este, a radiação solar incide durante longas horas da manhã. Nestas horas, o percurso do Sol não tem uma altura solar tão elevada como em Sul apresentando uma incidência próxima da perpendicular à fachada otimizando os ganhos solares. Oeste, em termos de altura solar, é semelhante a Este alterando apenas o horário de incidência do Sol que vai ser durante a tarde com uma intensidade maior. A aplicação de envidraçados nestas fachadas requer um grande cuidado no seu dimensionamento.

Rematando esta conclusão, é importante também referir que a ventilação conduziu a uma diminuição dos GHD bastante relevante. A correta utilização de estratégias de ventilação é essencial para a

redução das temperaturas do ar interior nos edifícios reduzindo os GHD e proporcionando aos ocupantes sensações térmicas de conforto.

A ventilação é essencial não só para a diminuição das temperaturas que se fazem sentir pelos utilizadores mas também pelos ambientes agradáveis com boa qualidade do ar interior que lhes oferece.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Após a elaboração desta dissertação é importante alertar e consciencializar os utilizadores para a escolha de certos elementos com vista à otimização das suas habitações.

Vão ser sugeridos alguns temas que podem ser analisados e até complementar o presente trabalho em prol dos ocupantes para estes conseguirem tomar as melhores decisões quando confrontados com diversas questões:

Analisar para um compartimento paralelepípedo a influência da localização do envidraçado na parede maior em comparação com a sua localização na parede de menor dimensão;

Quantificar e comparar o caudal de ventilação obtido com aberturas em paredes opostas face a aberturas em paredes adjacentes e analisar o seu efeito nas temperaturas interiores;

Caso de estudo de uma habitação com problemas de sobreaquecimento fazendo-se variar alguns parâmetros como dispositivos de sombreamento tanto adaptados à construção, ou seja, independentes da estrutura como elementos que fazem parte da própria construção;

Avaliar para compartimentos de dimensões diferentes, a influência de uma igual relação $\frac{A_{env}}{A_{pav}}$.

BIBLIOGRAFIA

1. Freitas, V.M.A.P.d. and P.d.S. Pinto, *Permeabilidade ao vapor de materiais de construção condensações internas*. Nota de informação técnica. Vol. 2ª ed. 2000, Porto: Laboratório de Física das Construções. Faculdade de Engenharia. XI, 69 p.-XI, 69 p.
2. Portugal. Instituto Português da, Q., *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás NP 1037-1: 2002 Parte 1 edifícios de habitação. Ventilação natural*. 2002, Lisboa: IPQ. 82 p.-82 p.
3. Despacho (extrato) nº15793-K/2013 - Parâmetros Térmicos, D.R.n., 3º Suplemento, série II and d. 03-12-2013.
4. Tirone, L. and K. Nunes, *Construção Sustentável-soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*. 1ª edição), Novembro, 2007.
5. Gonçalves, H. and J.M. Graça, *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. 2004.
6. Moita, F., *Energia solar passiva*. 1987, [Lisboa]: Imprensa Nacional - Casa da Moeda. 2 vol.- 2 vol.
7. Portugal. Leis, d.e., *Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto*. 2013, [Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda]. 18 p.-18 p.
8. *Passive cooling of buildings*. 1996, London: James & James. XI, 472 p.-XI, 472 p.
9. Verdelho, S.I.C., *Avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural*. 2008, Porto: [s. n.]. XII, 141, [56] p.-XII, 141, [56] p.
10. Silva, J.M.B.d., *A ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edifícios residenciais*. 2012.
11. International Organization for, S., *Ergonomics of the thermal environment analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria ISO 7730: 2005*. Vol. 3rd ed. 2005, Genève: ISO. 60 p-60 p.
12. Freitas, V.P.d. and R. Almeida, *AValiação DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR: CONFORTO TÉRMICO E QUALIDADE DO AR INTERIOR*. 2009.
13. Frota, A.B. and S.R. Schiffer, *Manual de conforto térmico*. 2006: Studio Nobel.

ANEXOS

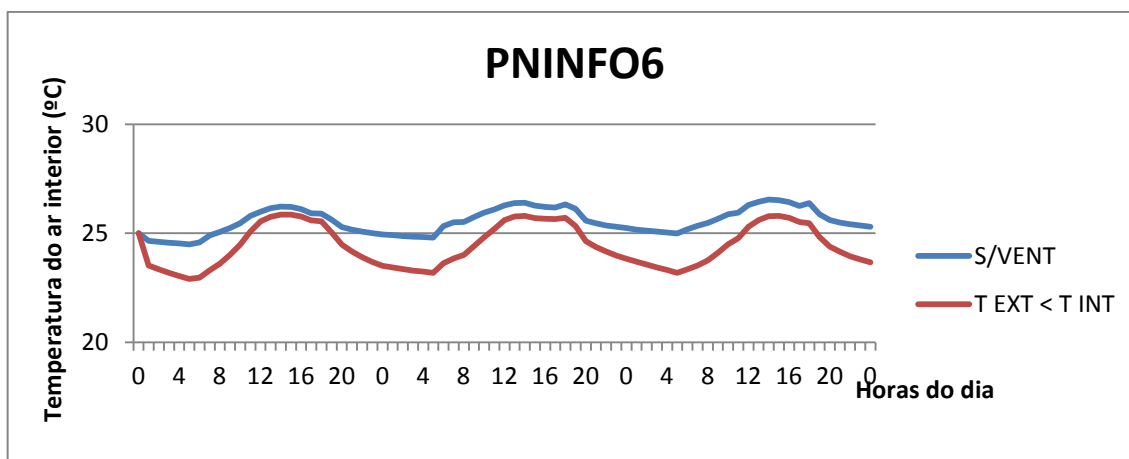


Gráfico 7.1: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

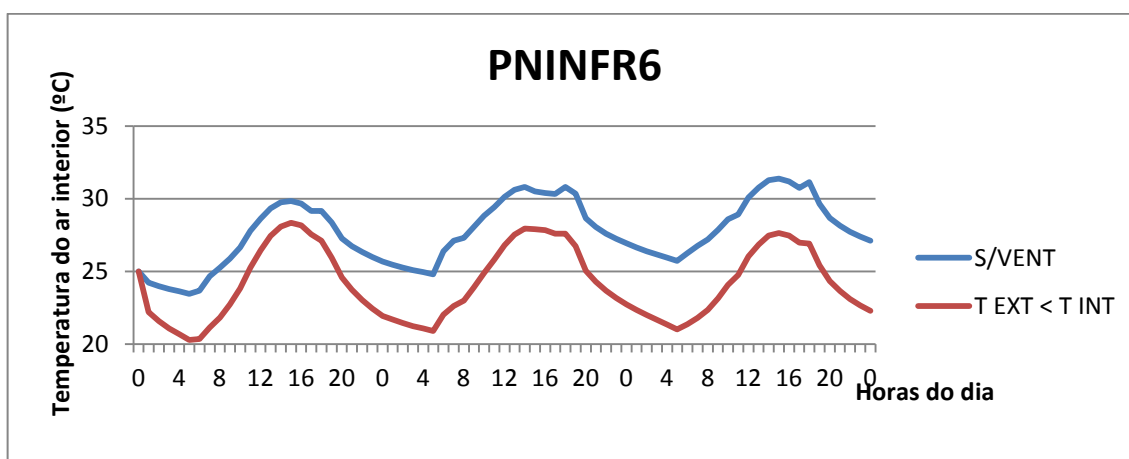


Gráfico 7.2: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

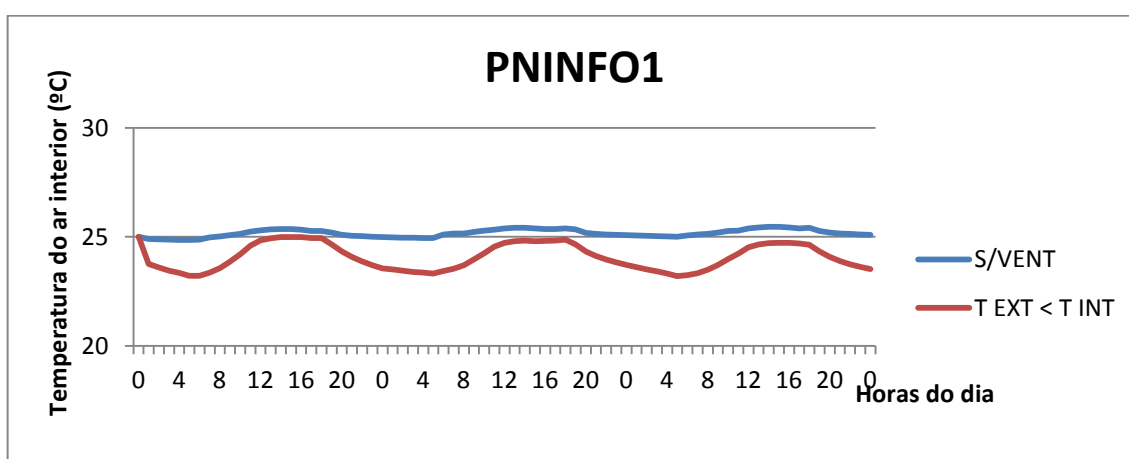


Gráfico 7.3: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

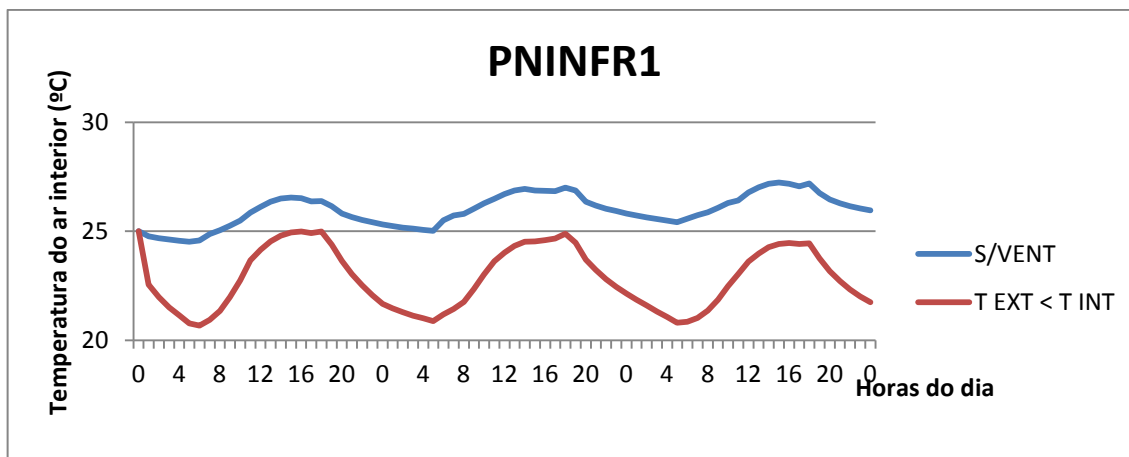


Gráfico 7.4: Porto, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

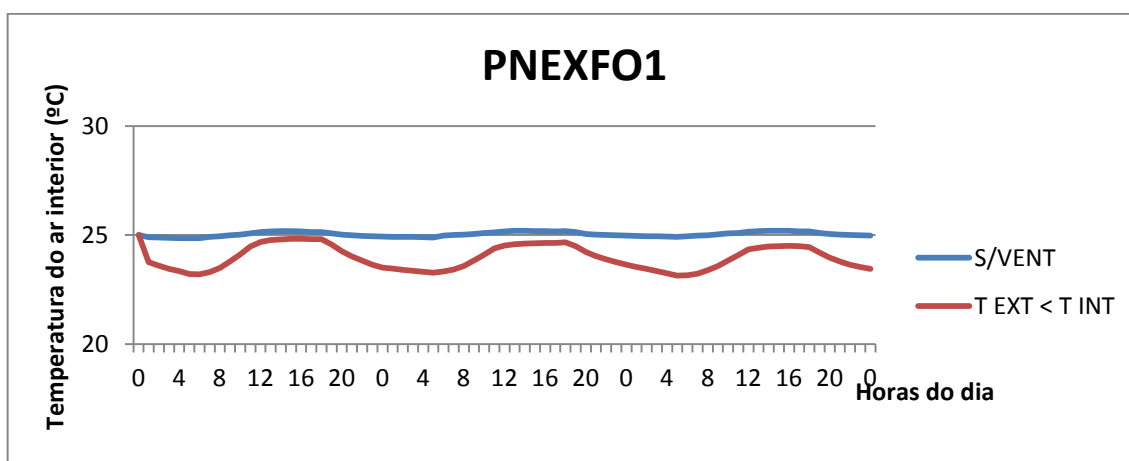


Gráfico 7.5: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

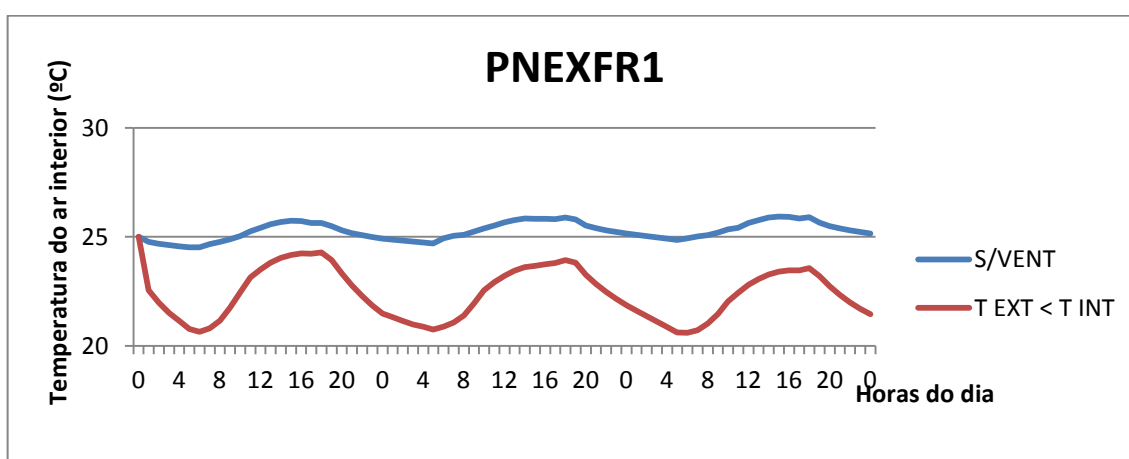


Gráfico 7.6: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

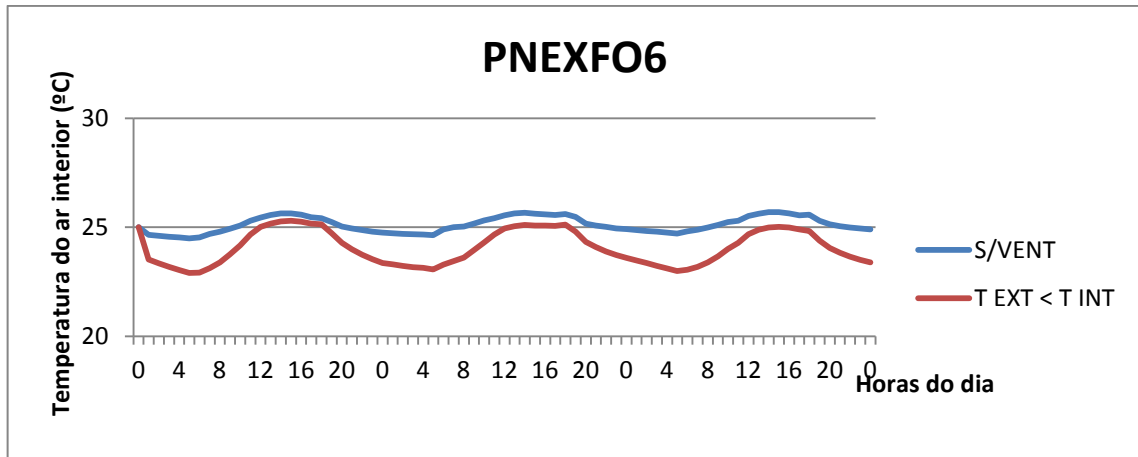


Gráfico 7.7: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

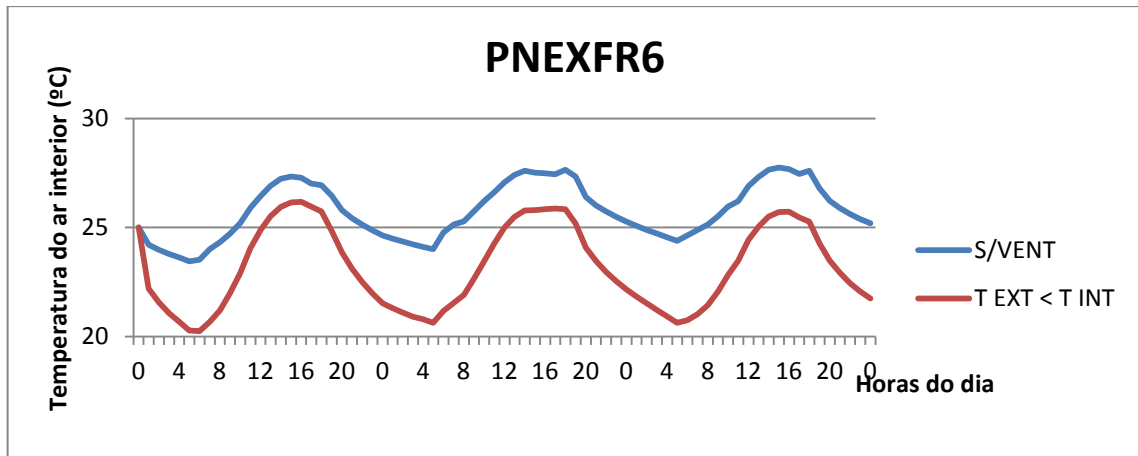


Gráfico 7.8: Porto, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

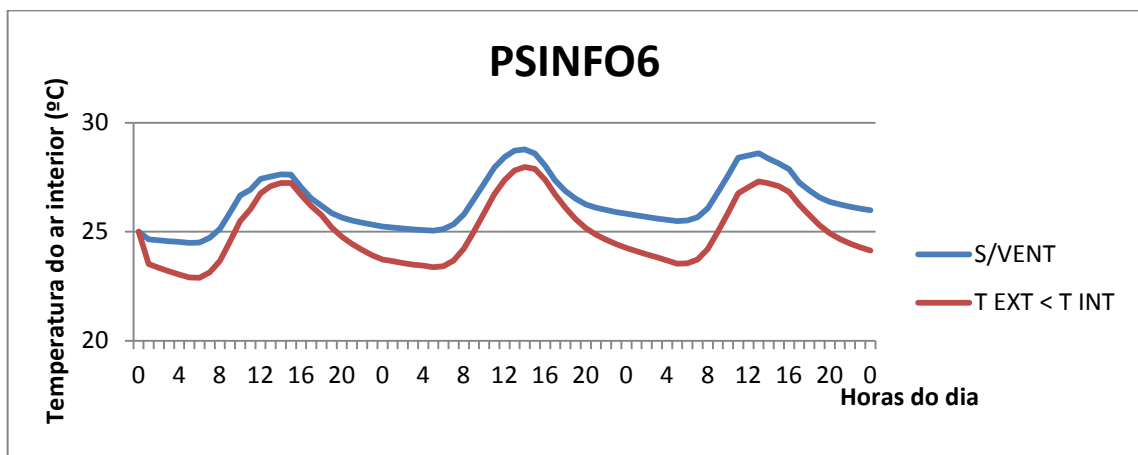


Gráfico 7.9: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

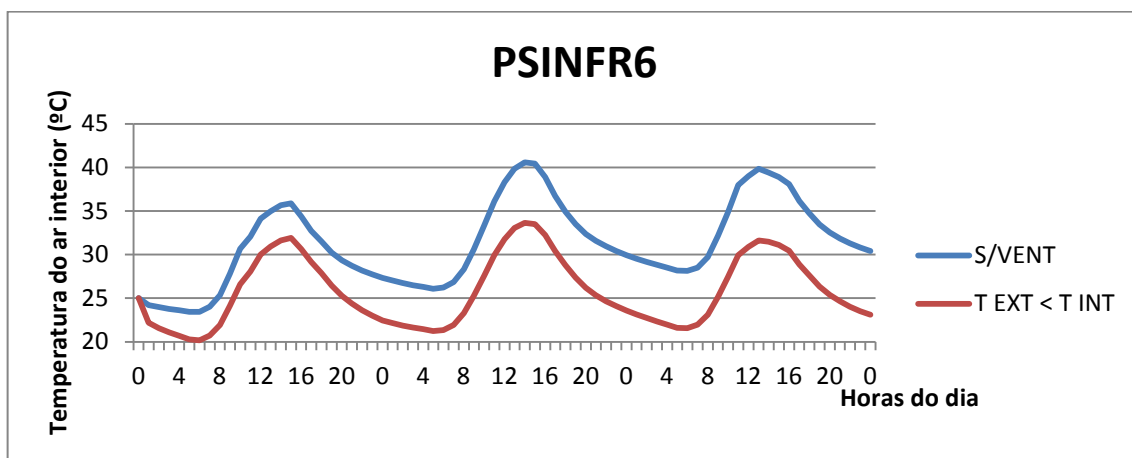


Gráfico 7.10: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

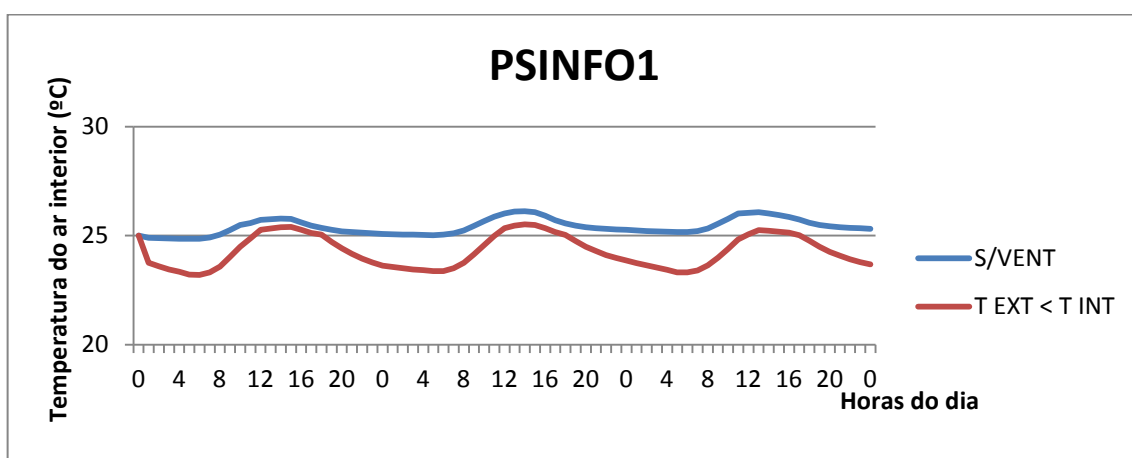


Gráfico 7.11: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

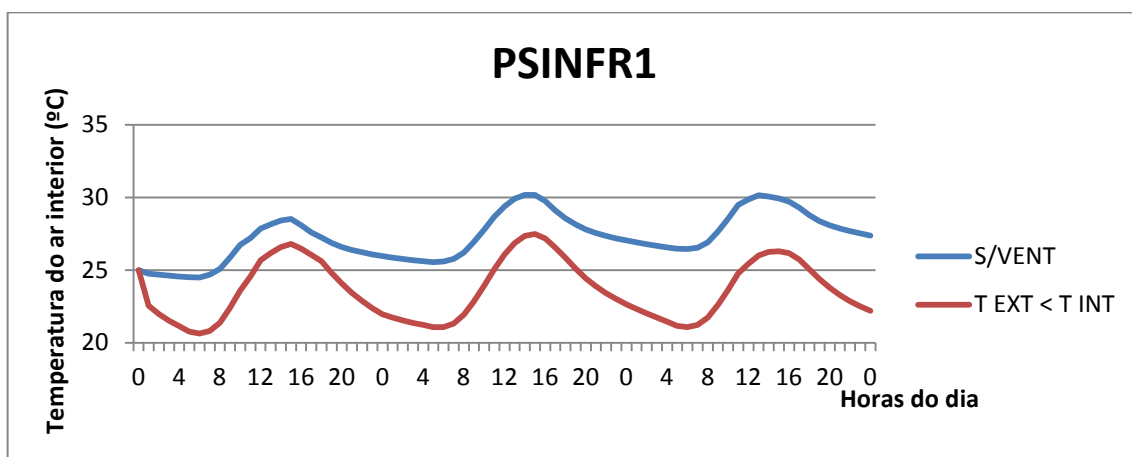


Gráfico 7.12: Porto, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

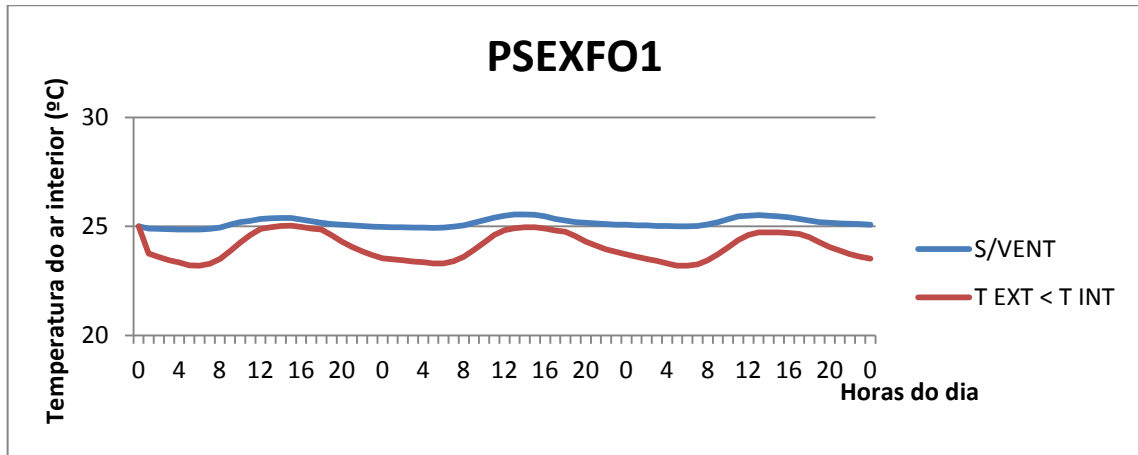


Gráfico 7.13: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

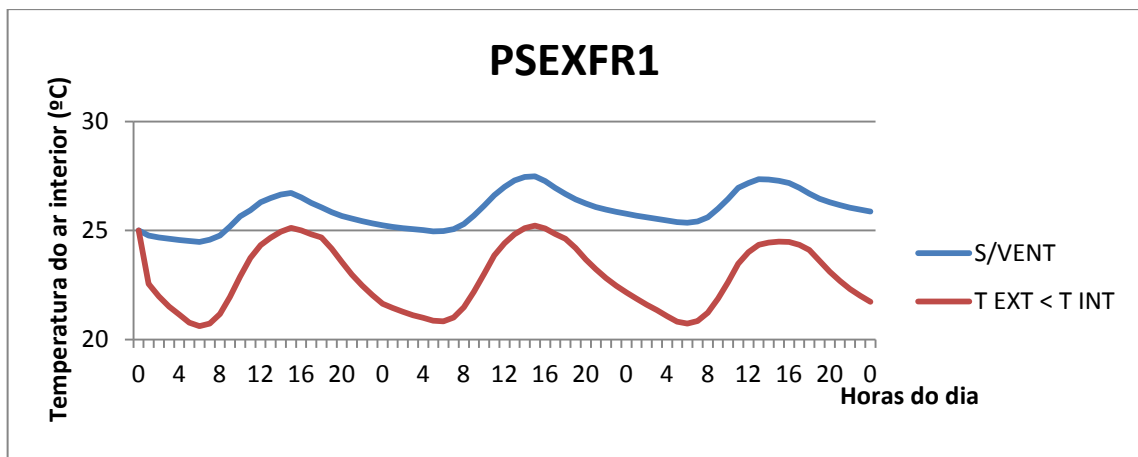


Gráfico 7.14: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

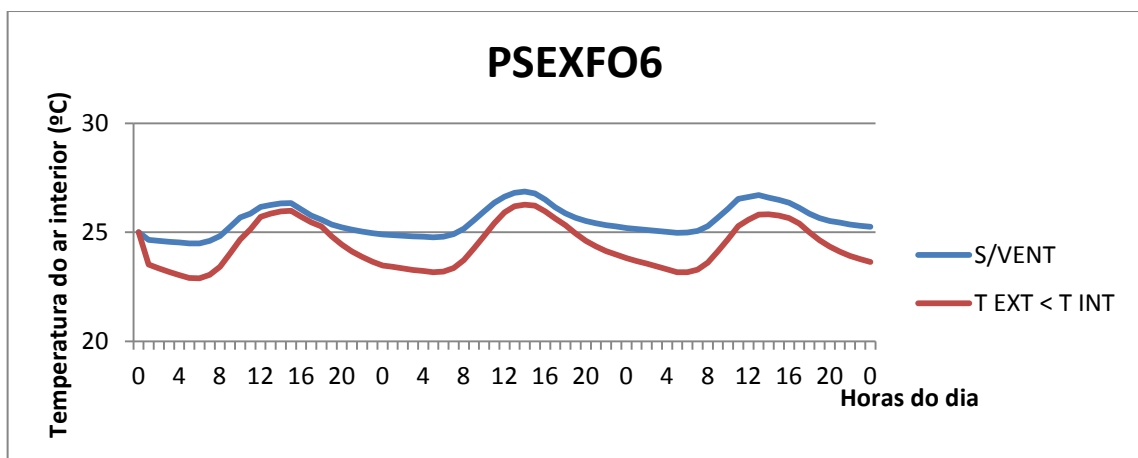


Gráfico 7.15: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

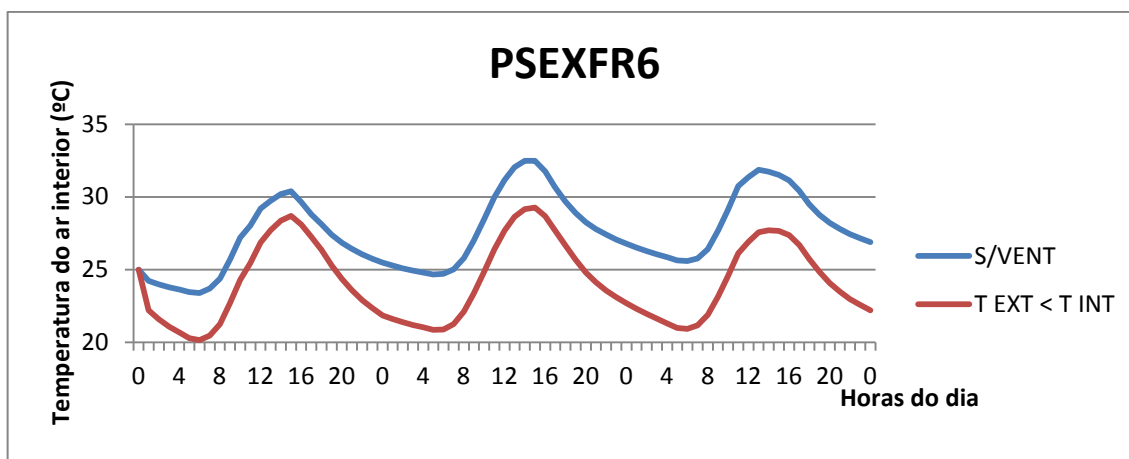


Gráfico 7.16: Porto, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

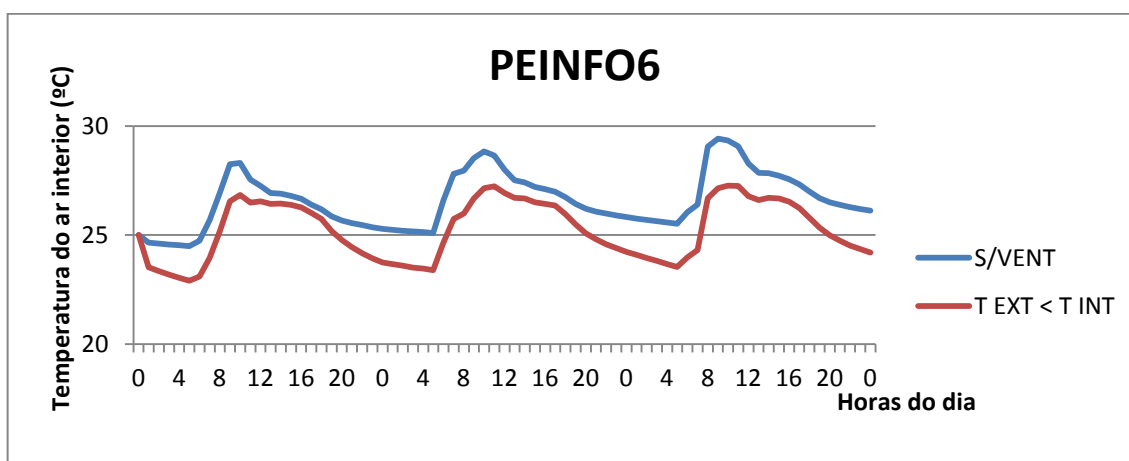


Gráfico 7.17: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

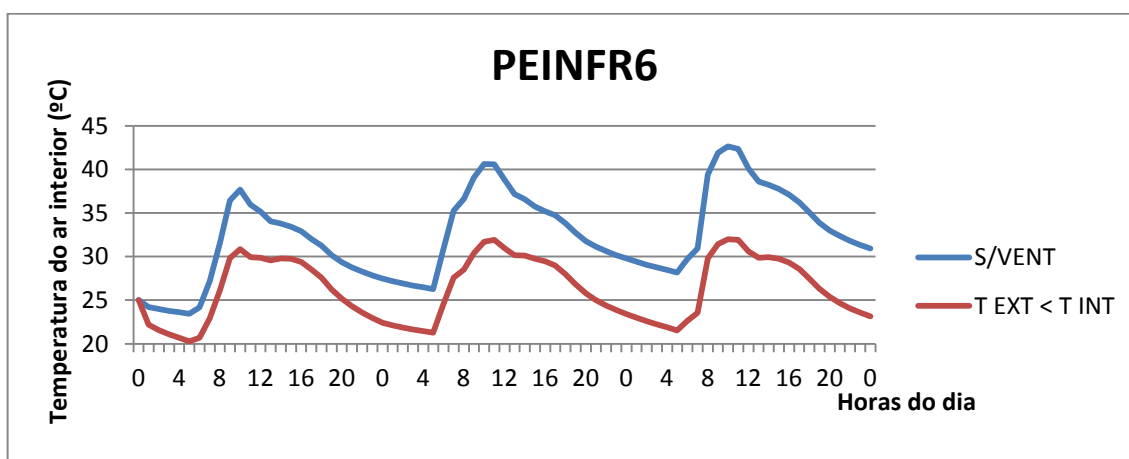


Gráfico 7.18: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

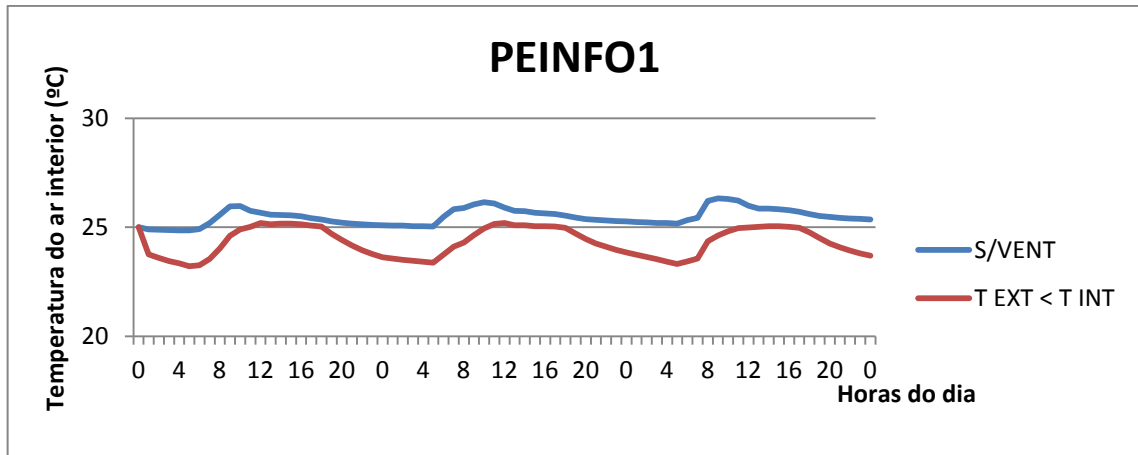


Gráfico 7.19: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

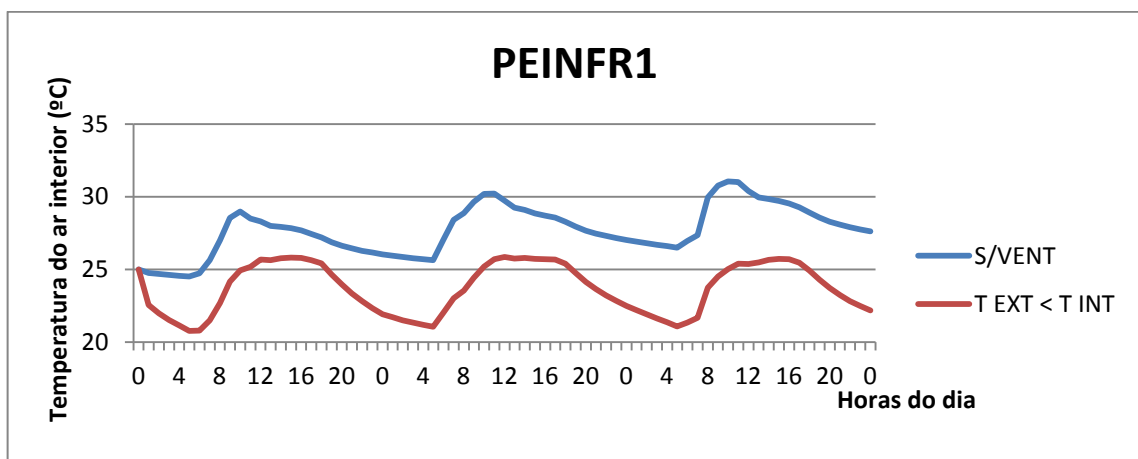


Gráfico 7.20: Porto, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

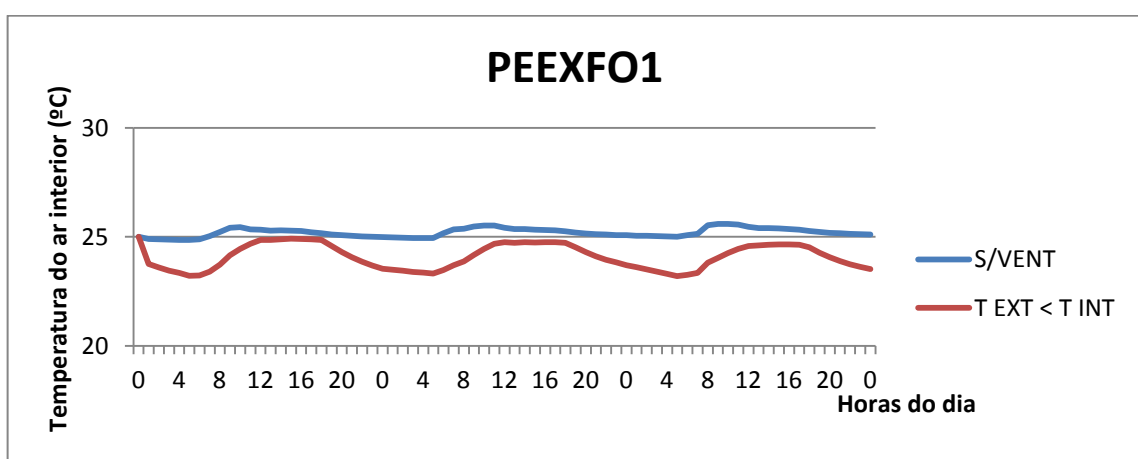


Gráfico 7.21: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

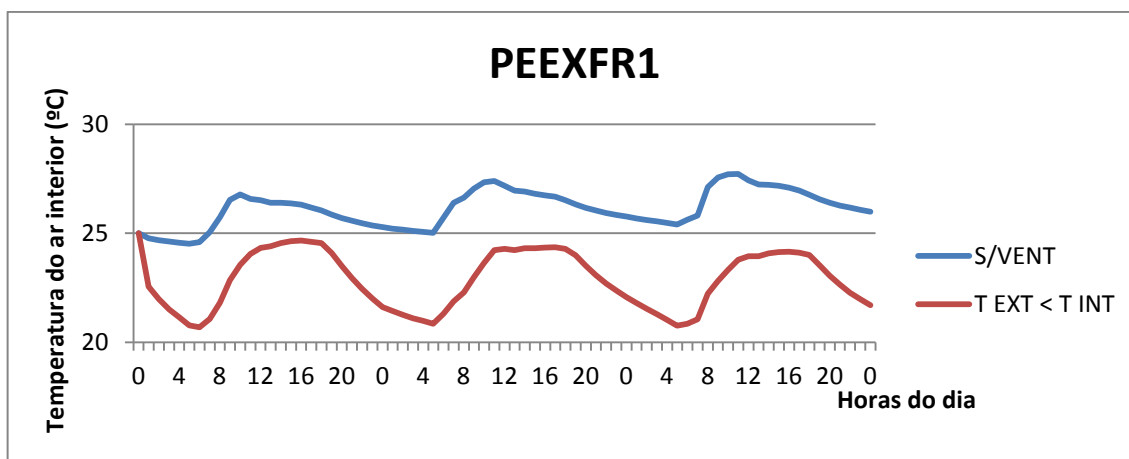


Gráfico 7.22: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

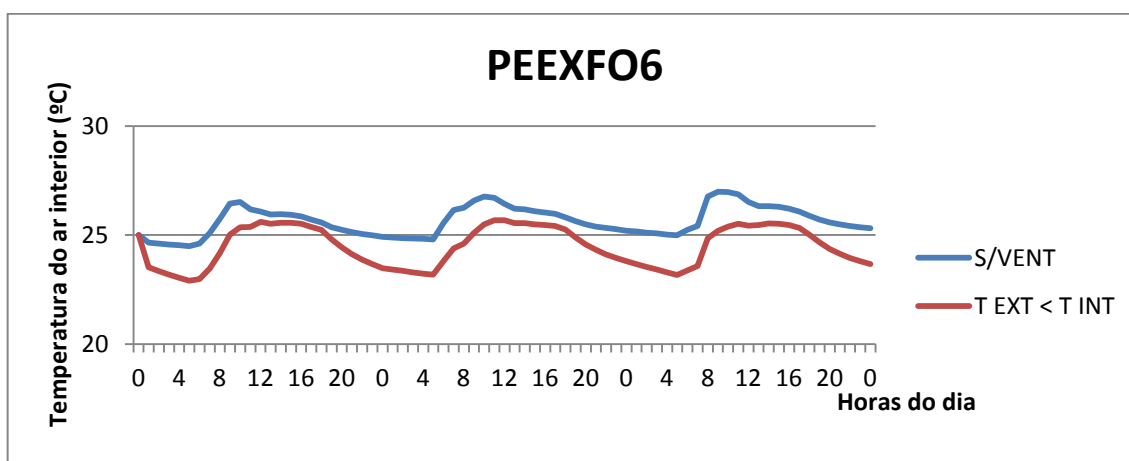


Gráfico 7.23: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

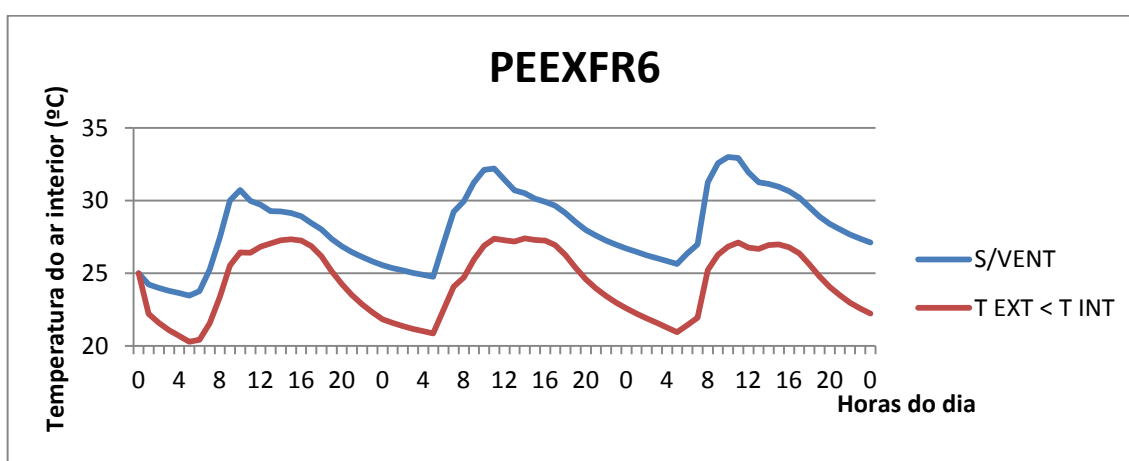


Gráfico 7.24: Porto, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

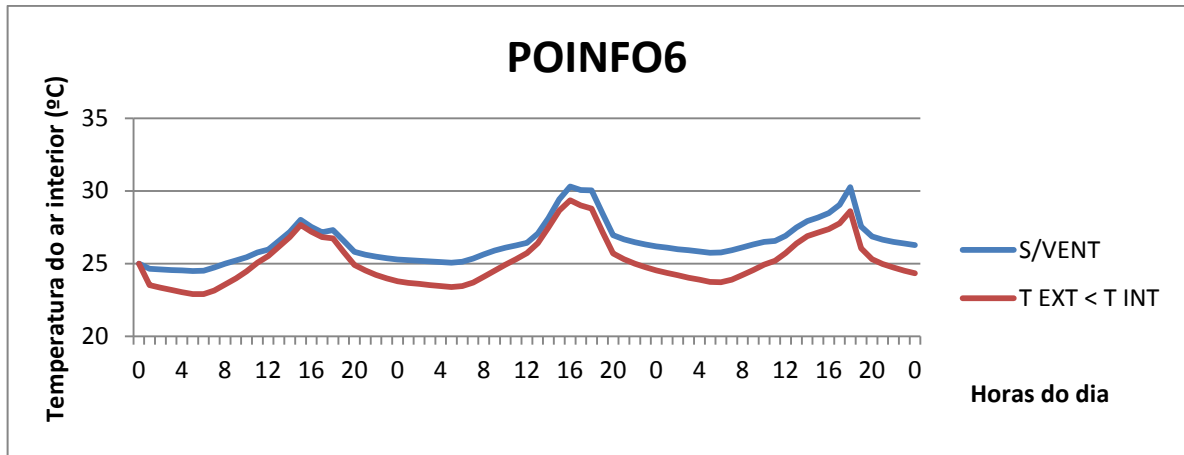


Gráfico 7.25: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

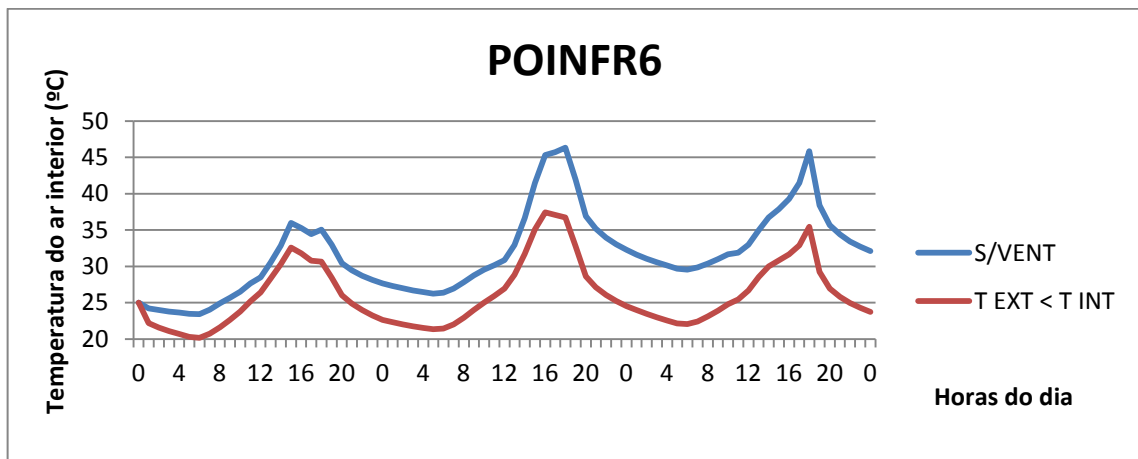


Gráfico 7.26: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

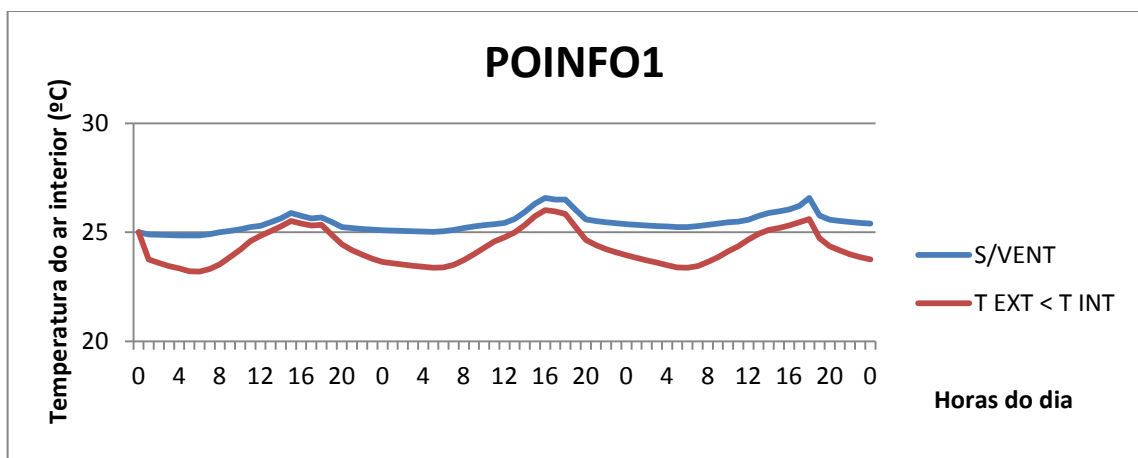


Gráfico 7.27: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

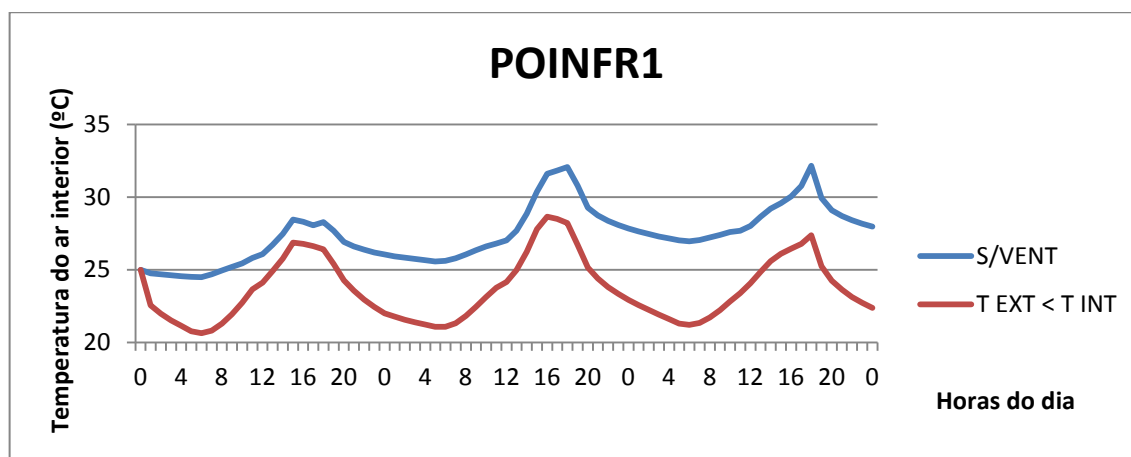


Gráfico 7.28: Porto, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

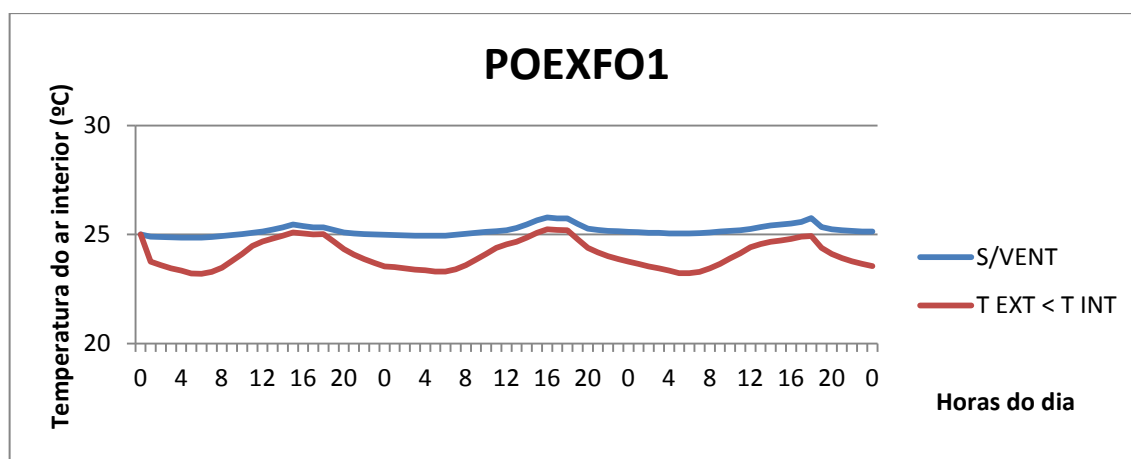


Gráfico 7.29: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

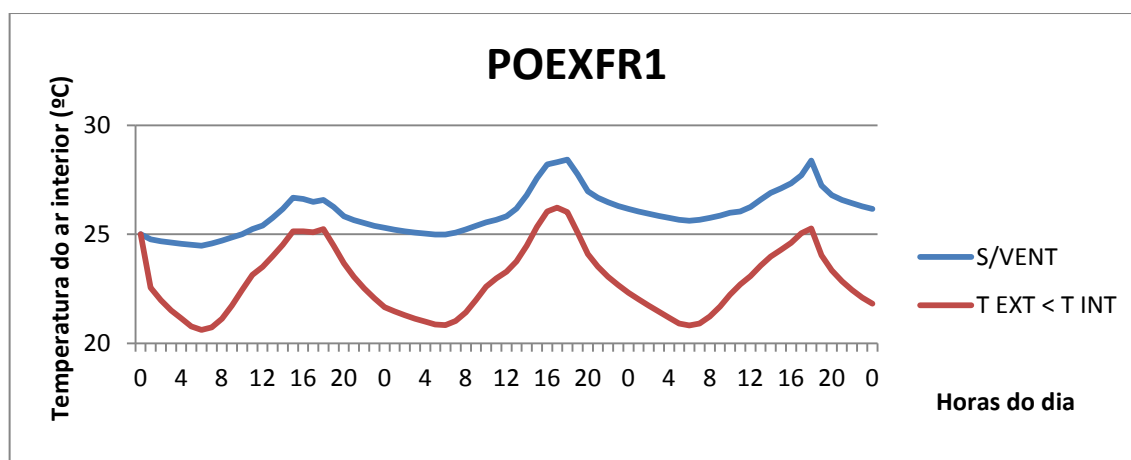


Gráfico 7.30: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

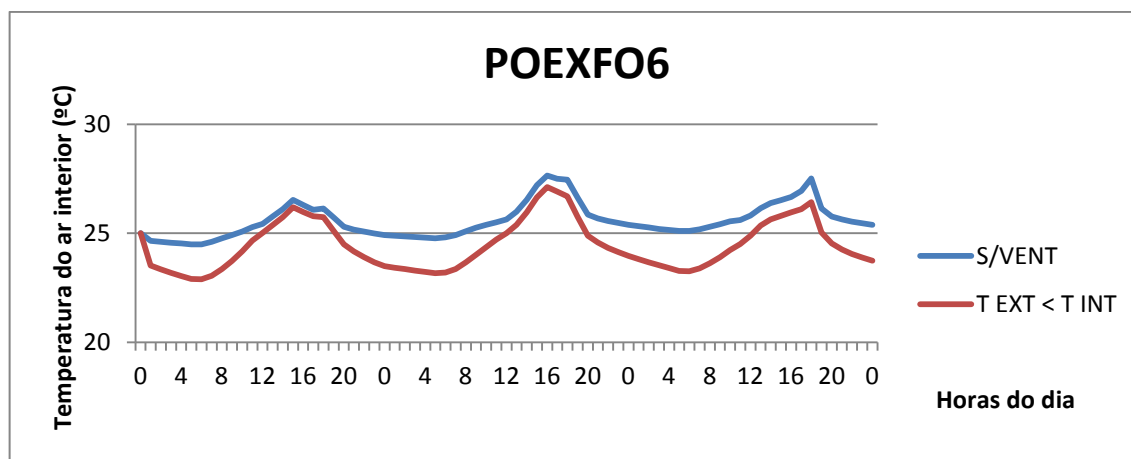


Gráfico 7.31: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

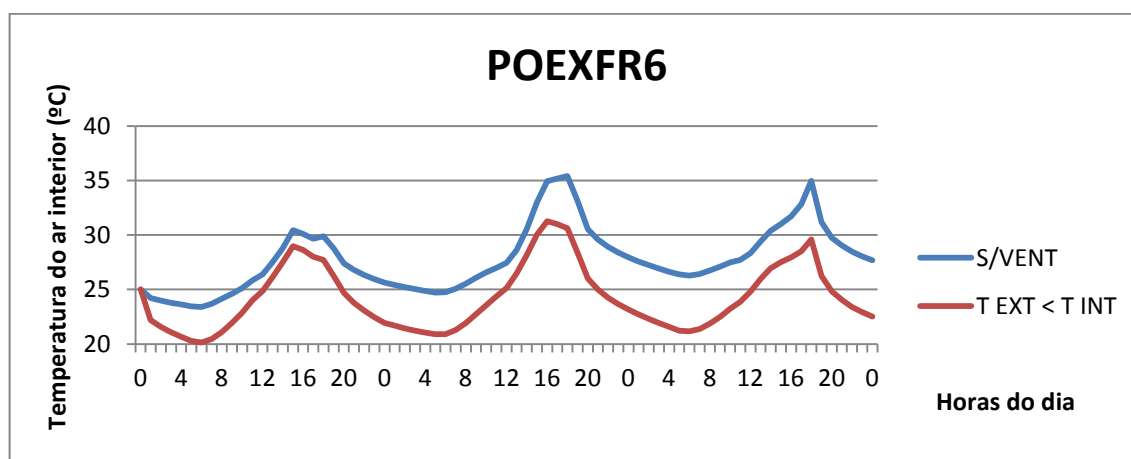


Gráfico 7.32: Porto, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

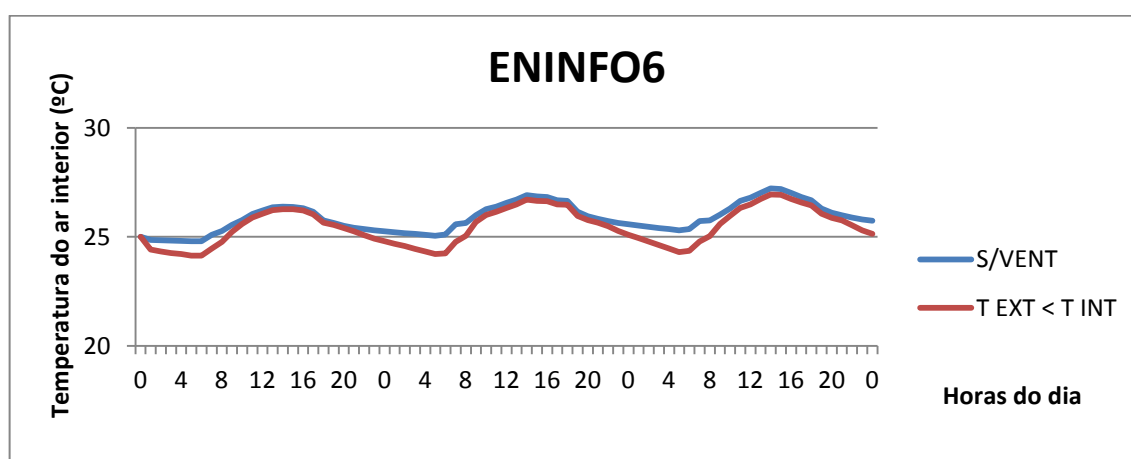


Gráfico 7.33: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

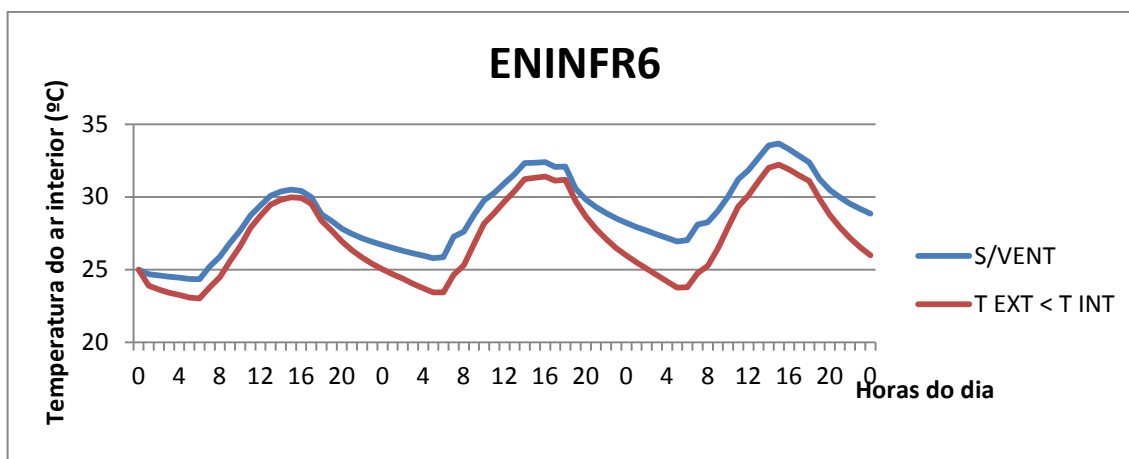


Gráfico 7.34: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

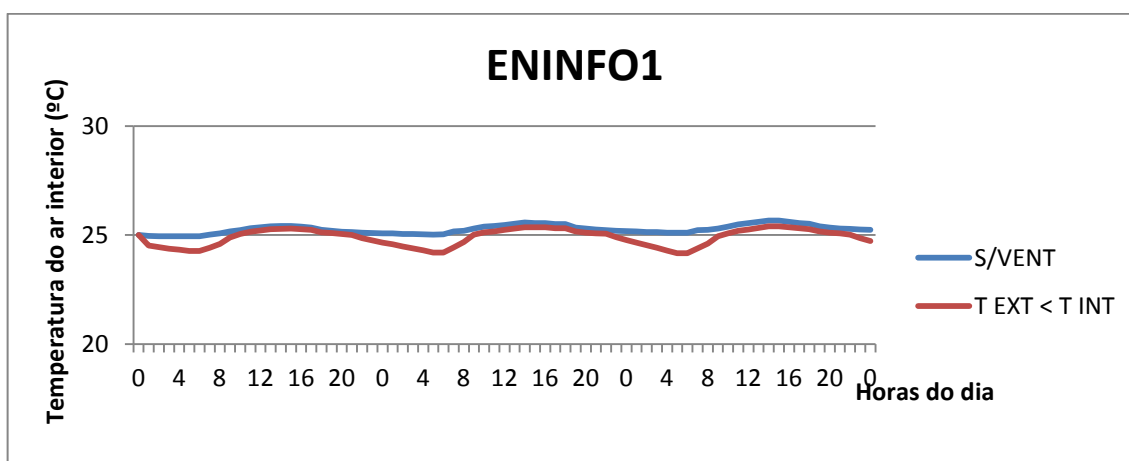


Gráfico 7.35: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

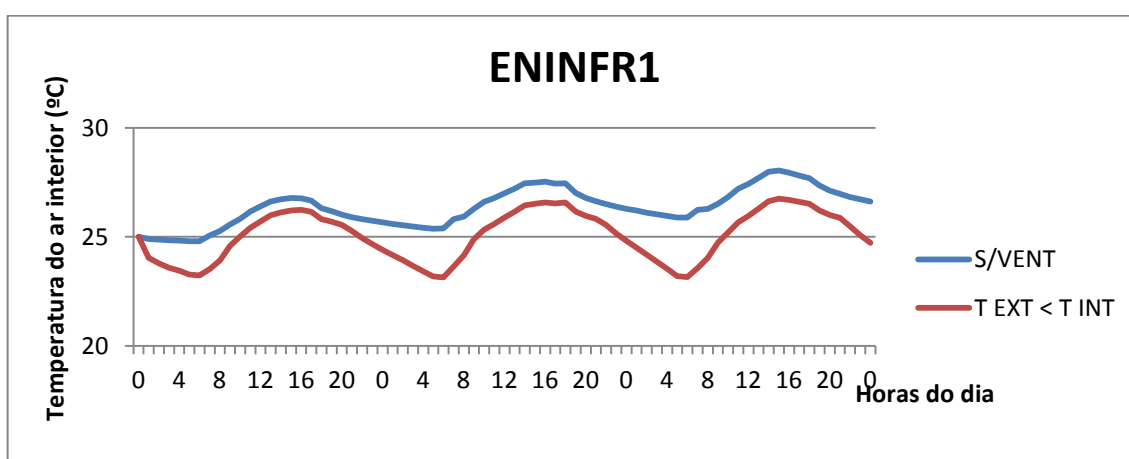


Gráfico 7.36: Évora, Norte, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

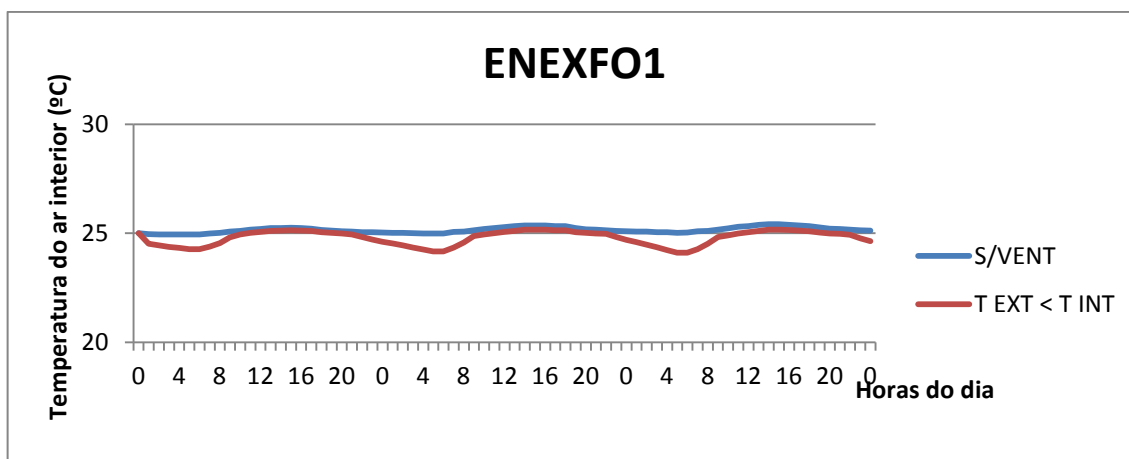


Gráfico 7.37: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

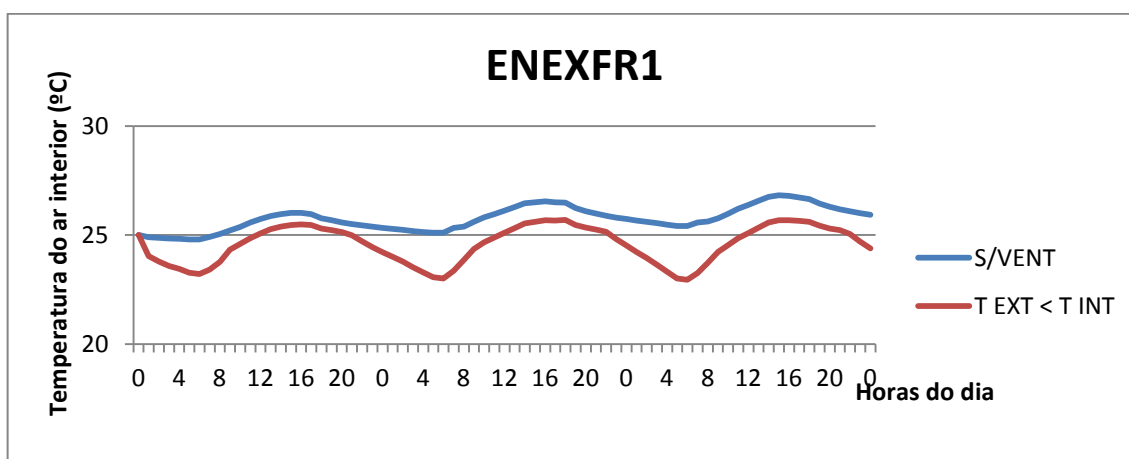


Gráfico 7.38: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

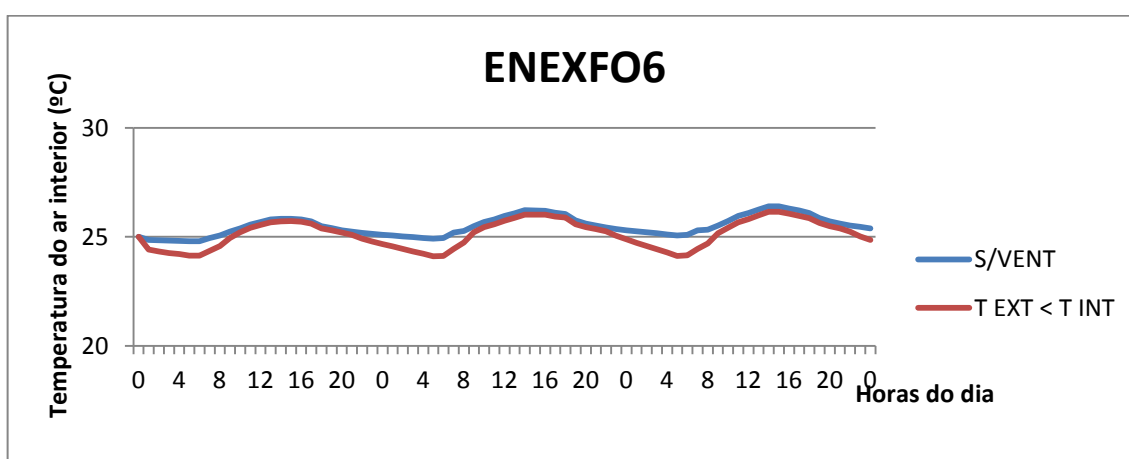


Gráfico 7.39: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

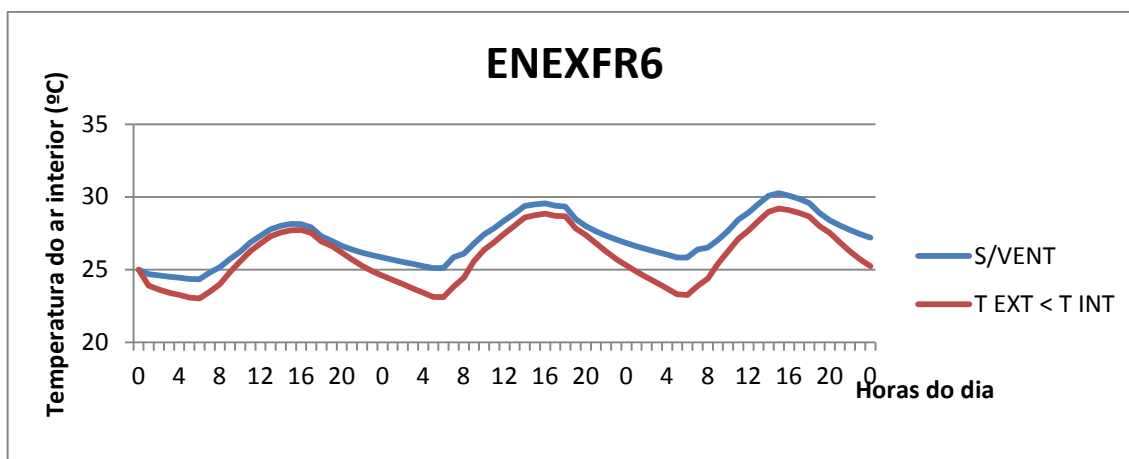


Gráfico 7.40: Évora, Norte, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

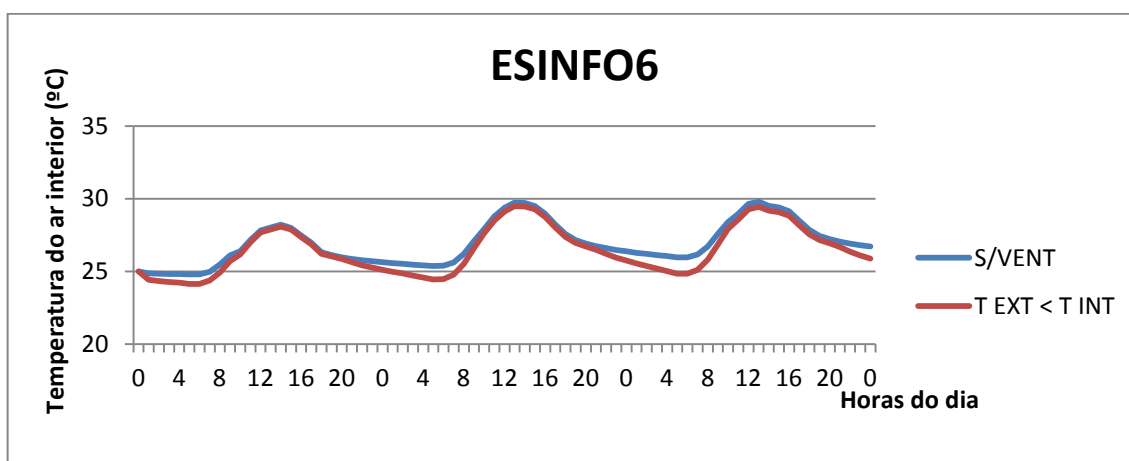


Gráfico 7.41: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

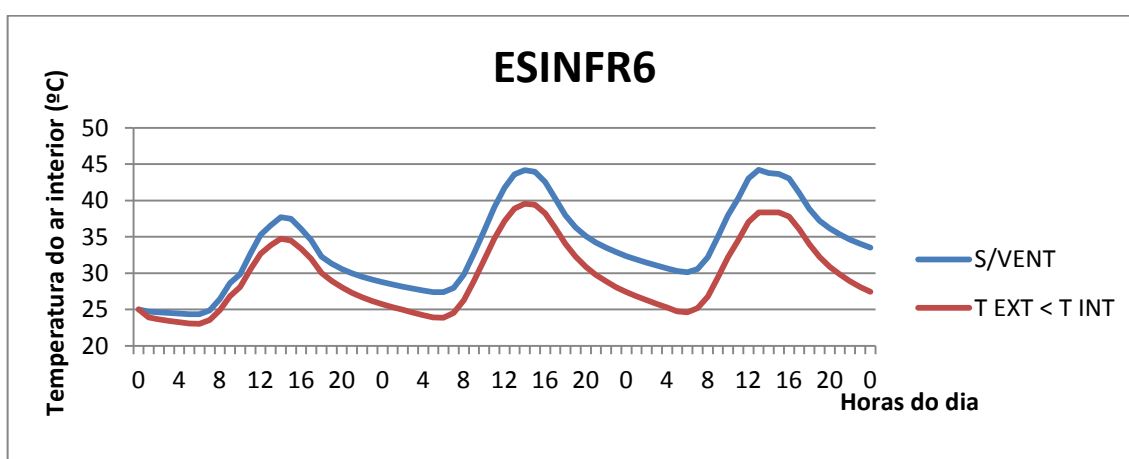


Gráfico 7.42: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

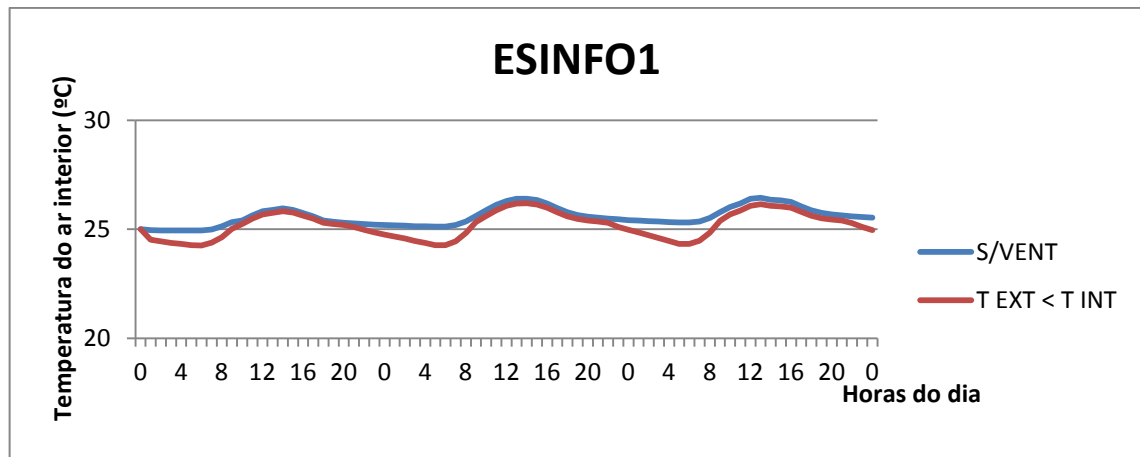


Gráfico 7.43: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

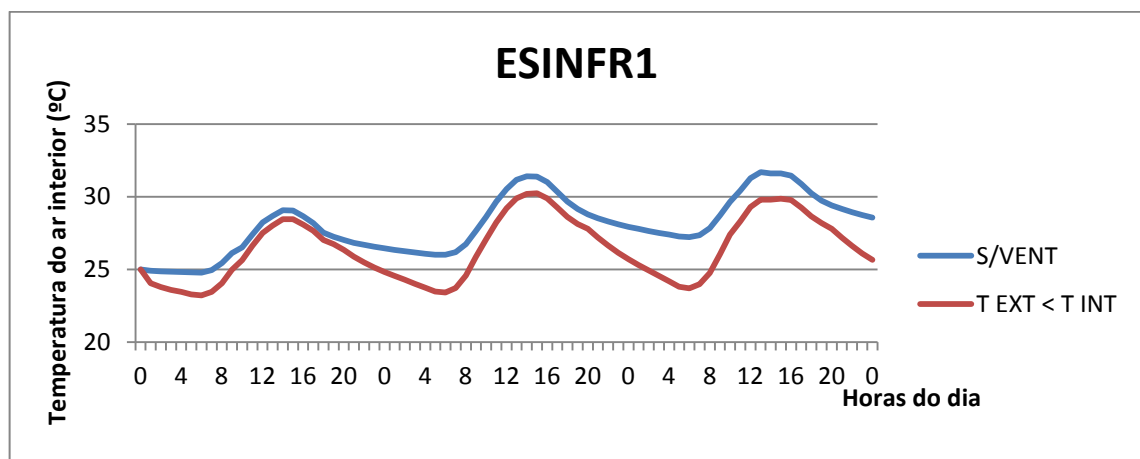


Gráfico 7.44: Évora, Sul, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

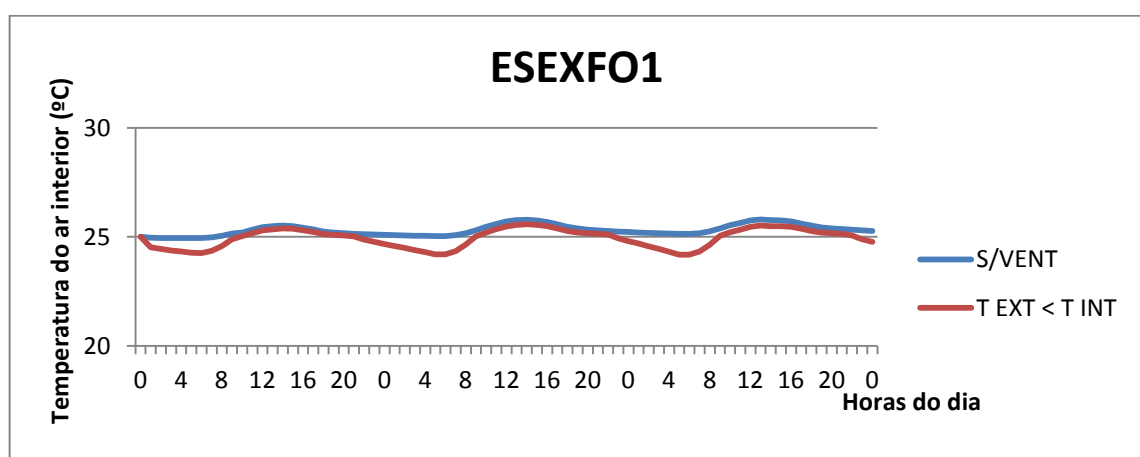


Gráfico 7.45: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

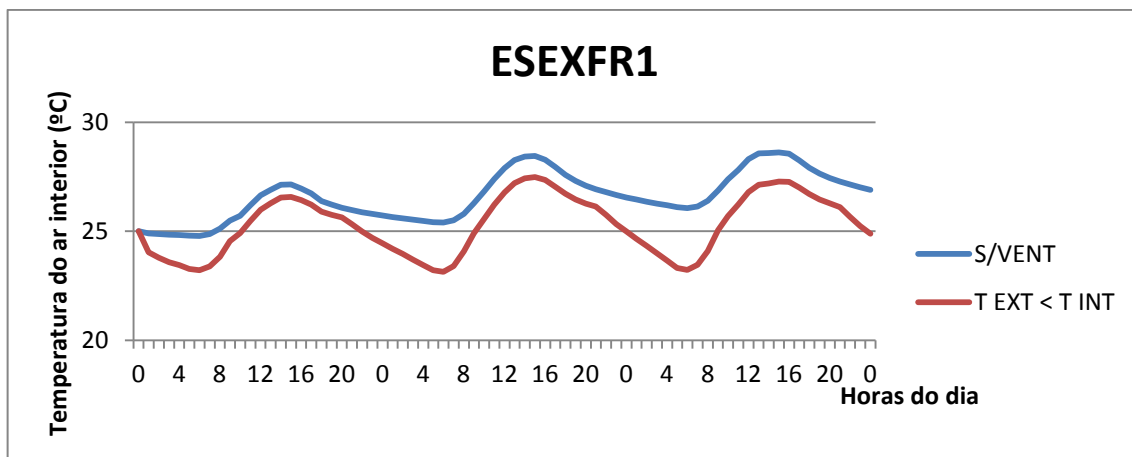


Gráfico 7.46: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

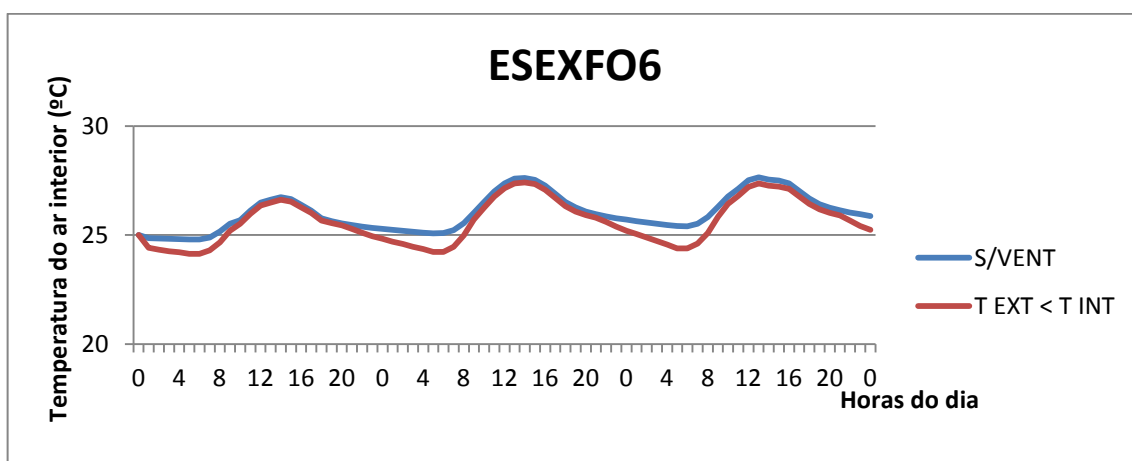


Gráfico 7.47: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

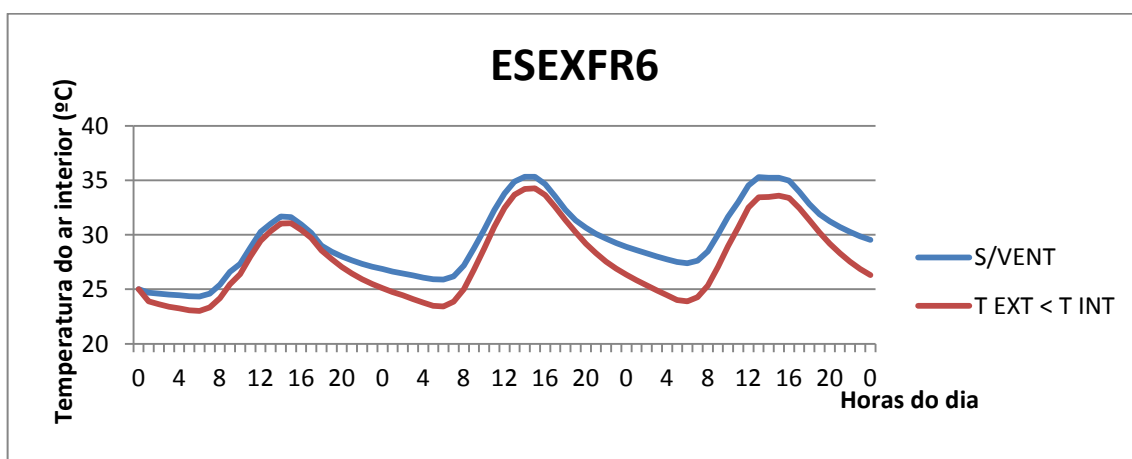


Gráfico 7.48: Évora, Sul, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

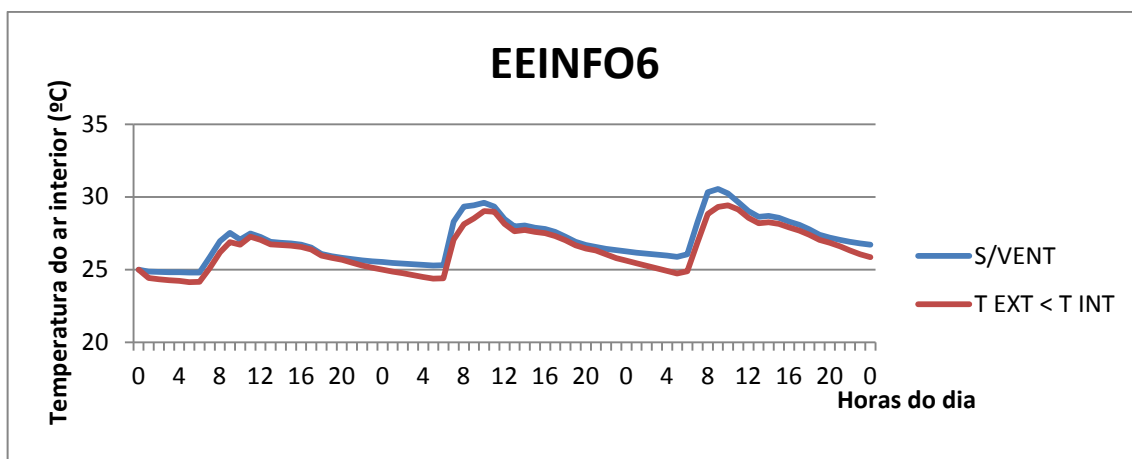


Gráfico 7.49: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

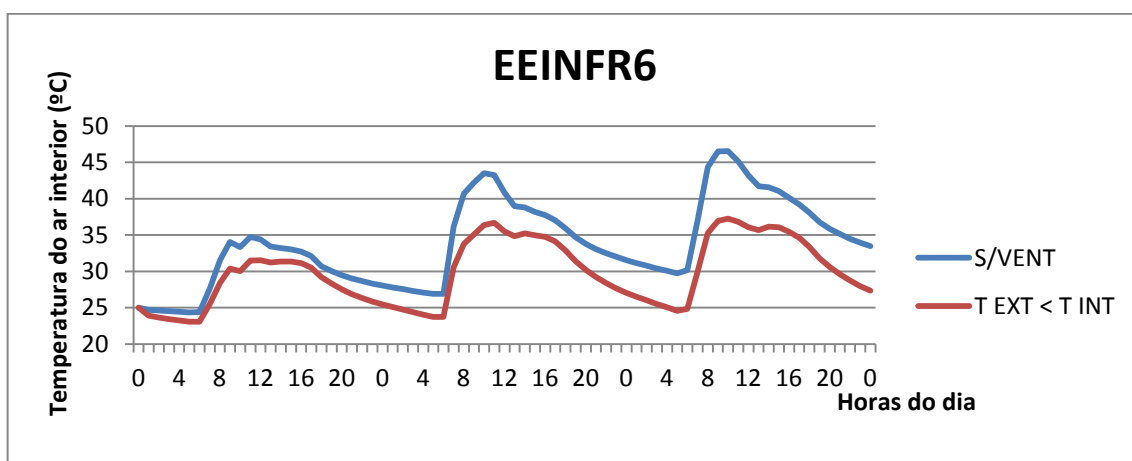


Gráfico 7.50: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

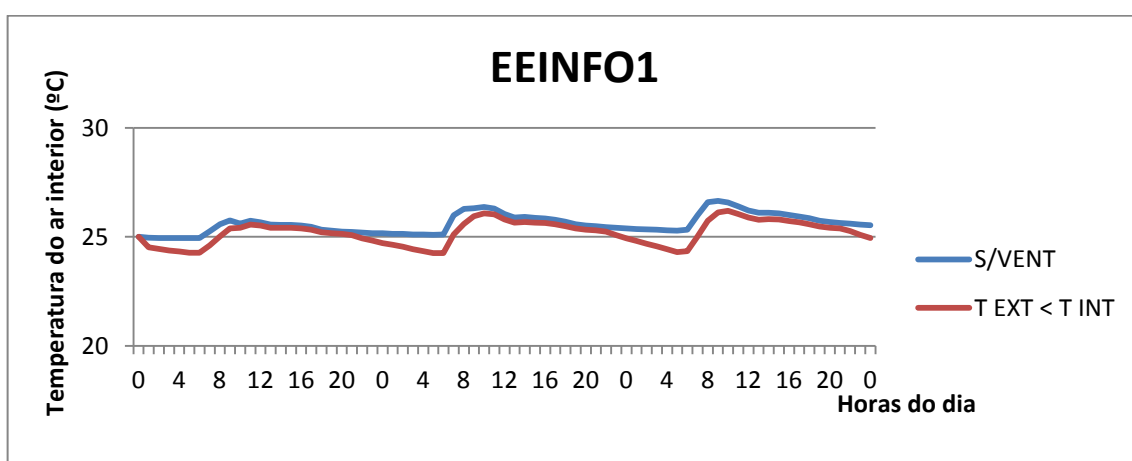


Gráfico 7.51: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

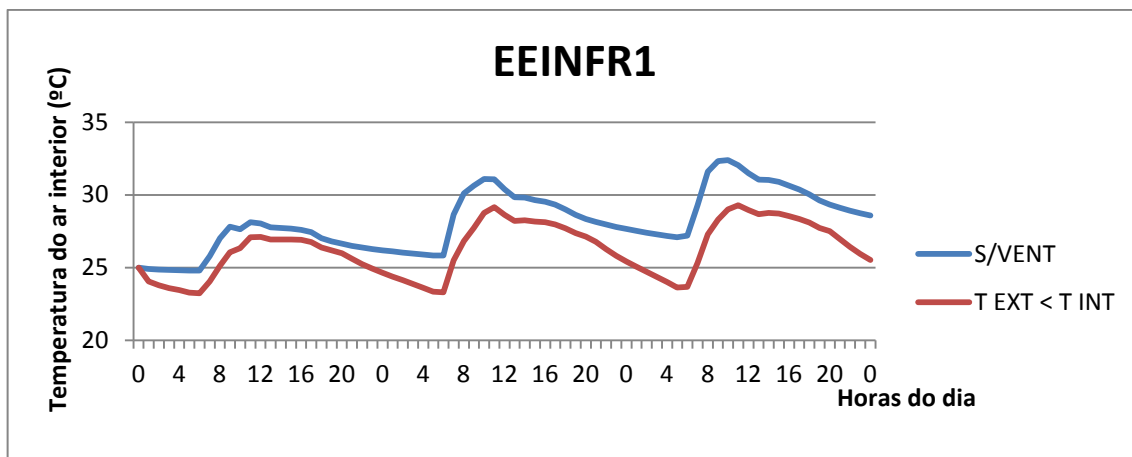


Gráfico 7.52: Évora, Este, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

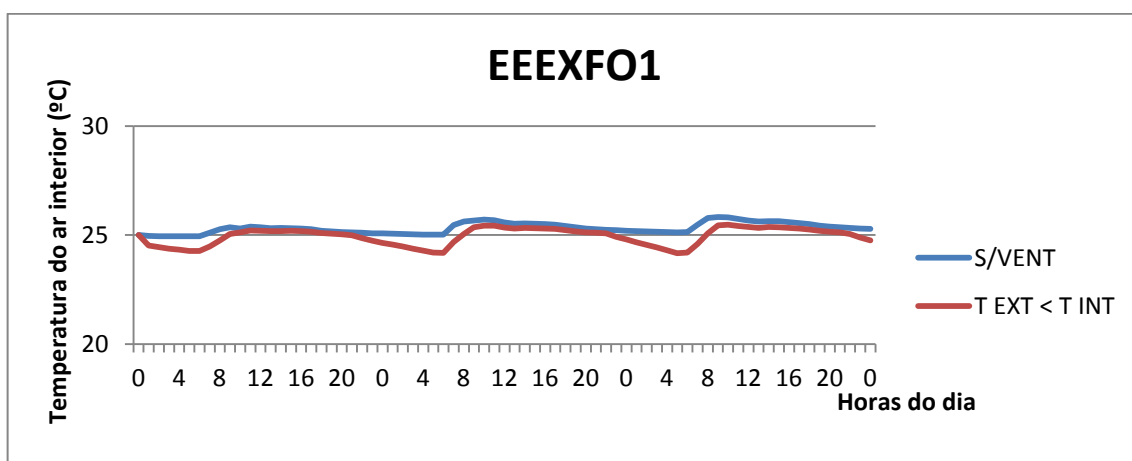


Gráfico 7.53: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

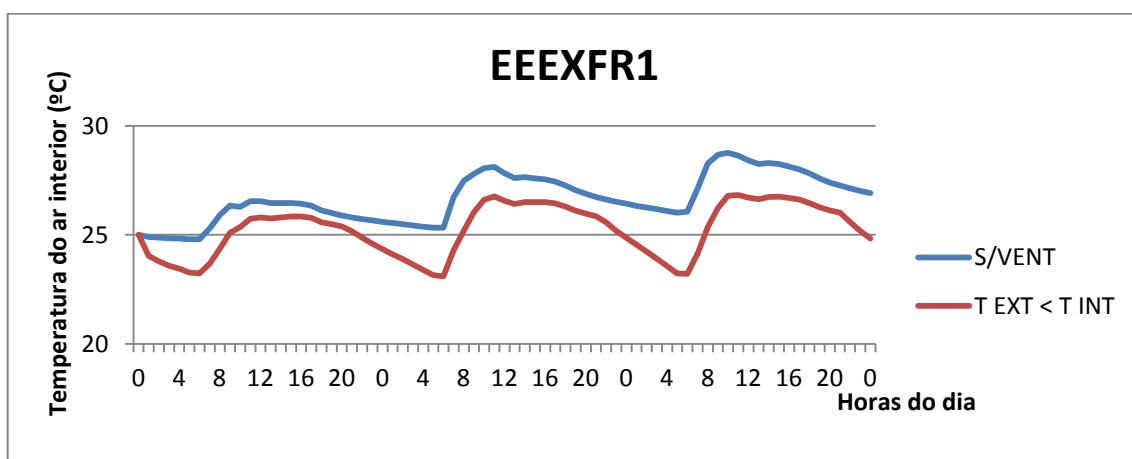


Gráfico 7.54: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

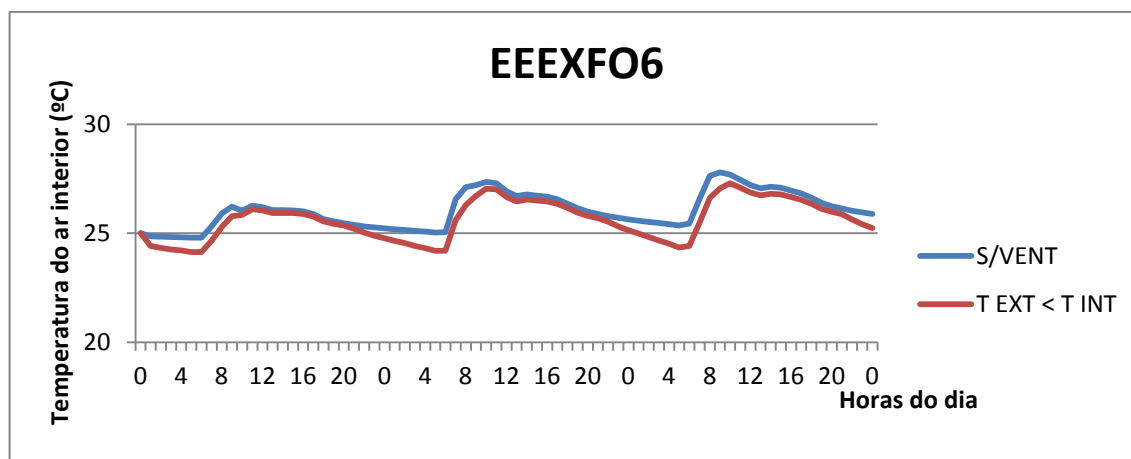


Gráfico 7.55: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

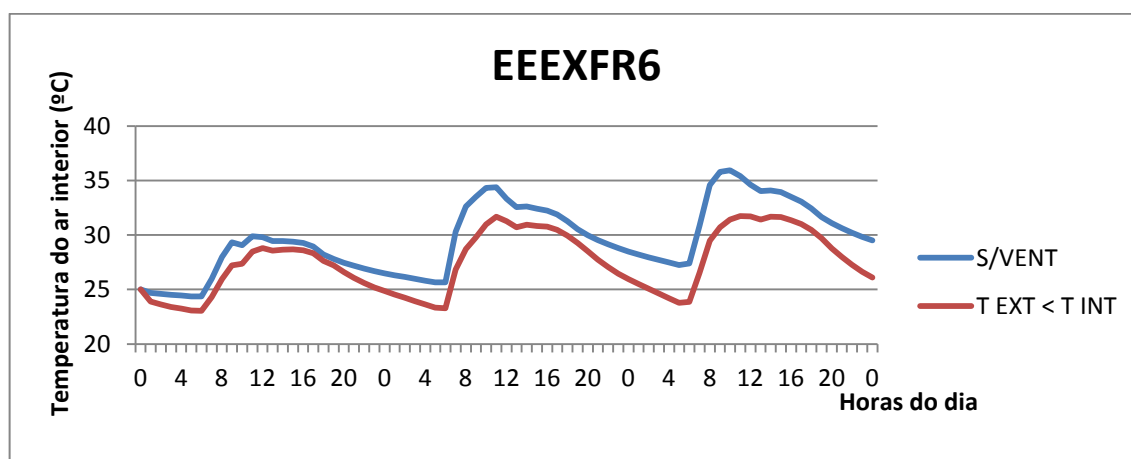


Gráfico 7.56: Évora, Este, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

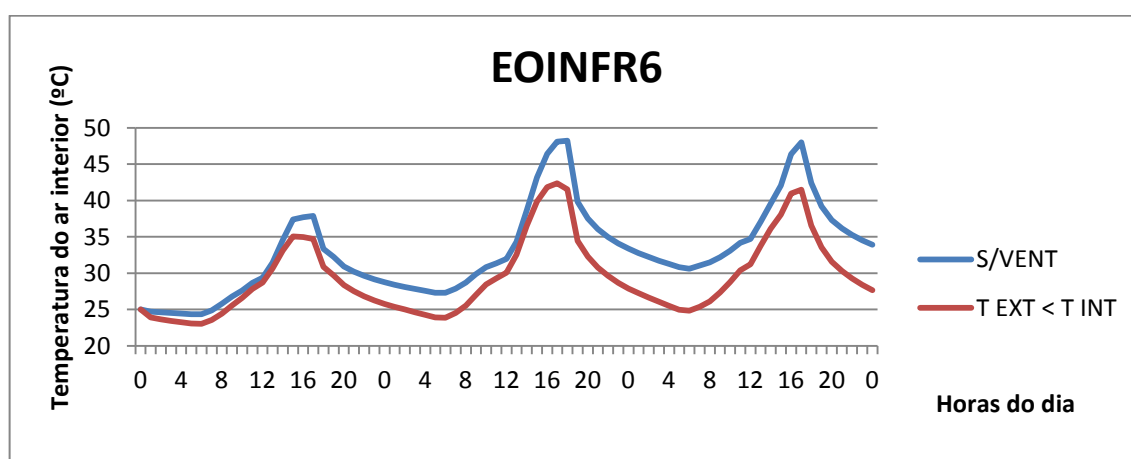


Gráfico 7.57: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²

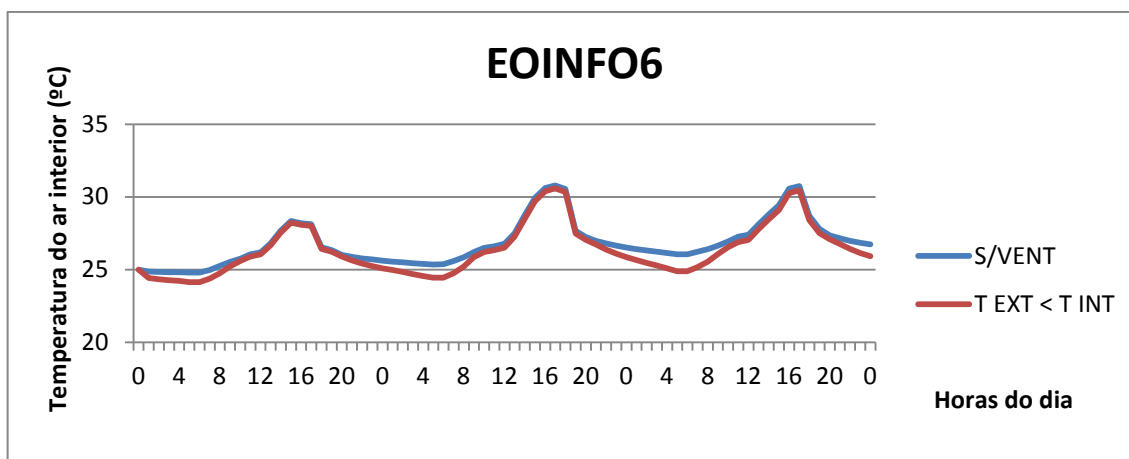


Gráfico 7.58: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

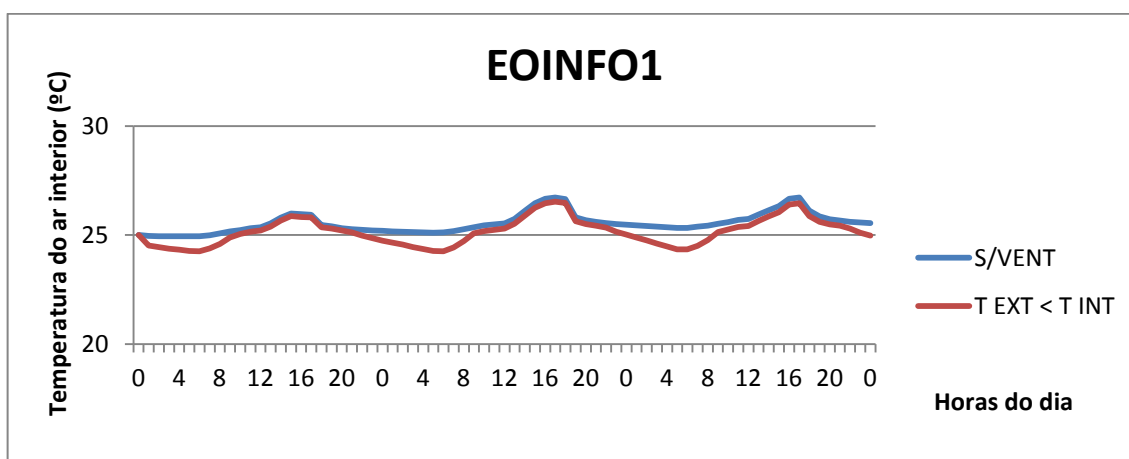


Gráfico 7.59: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

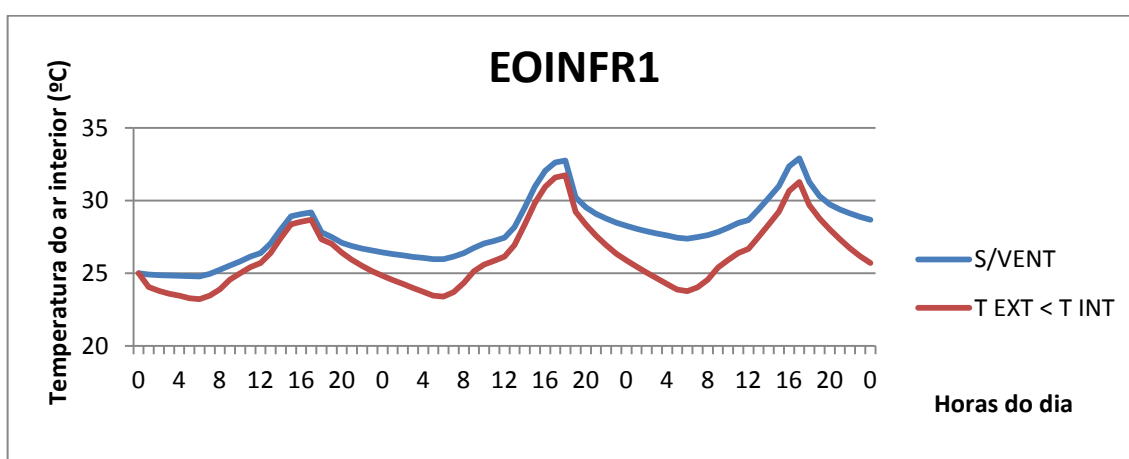


Gráfico 7.60: Évora, Oeste, Proteção Interior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

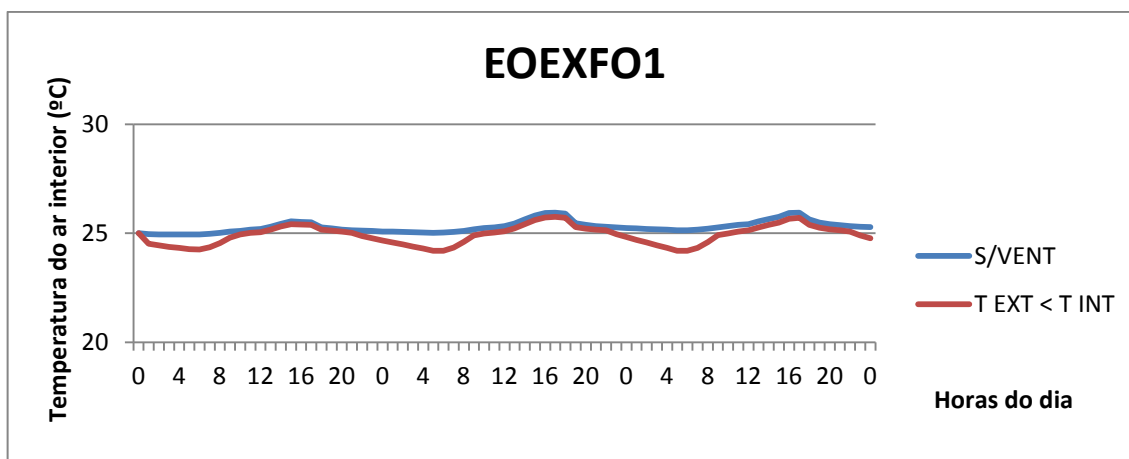


Gráfico 7.61: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 1,8m²

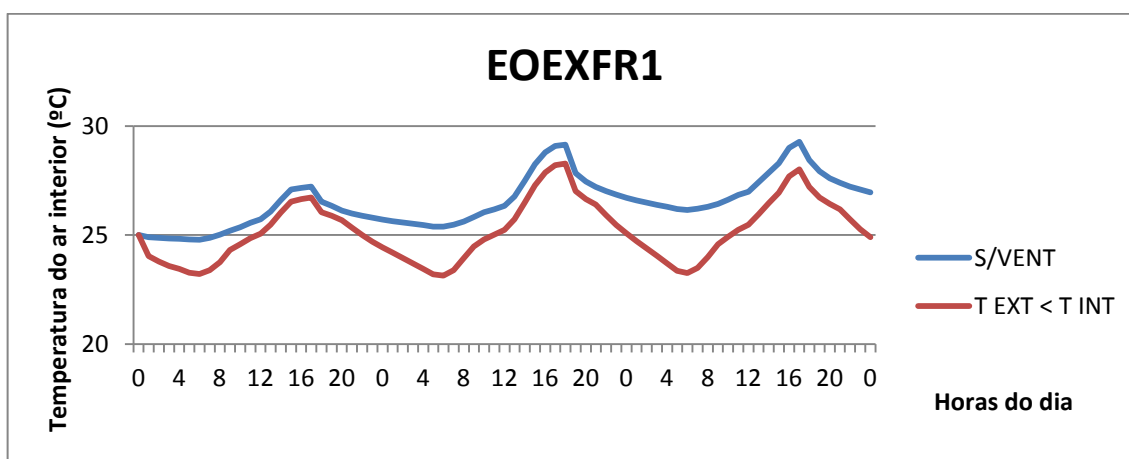


Gráfico 7.62: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 1,8m²

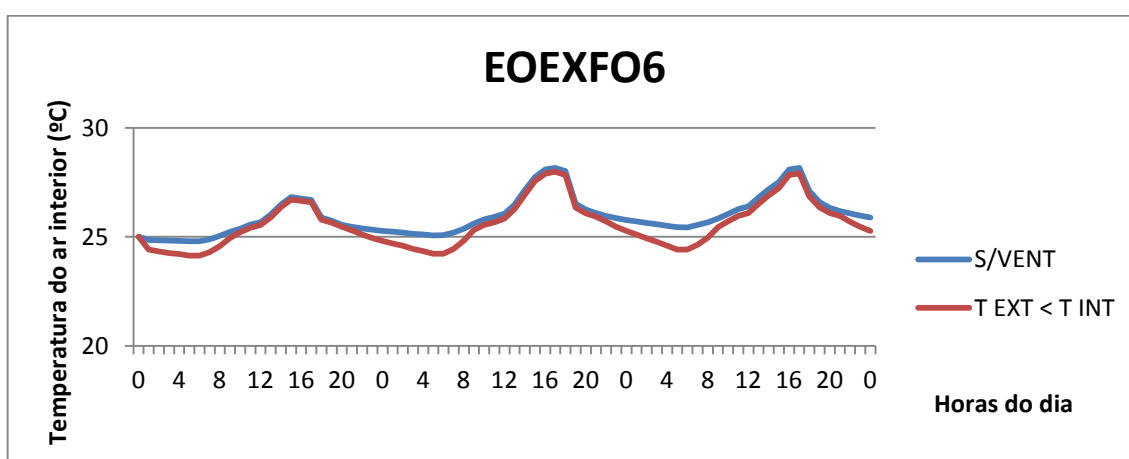


Gráfico 7.63: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Forte, Envidraçado 6m²

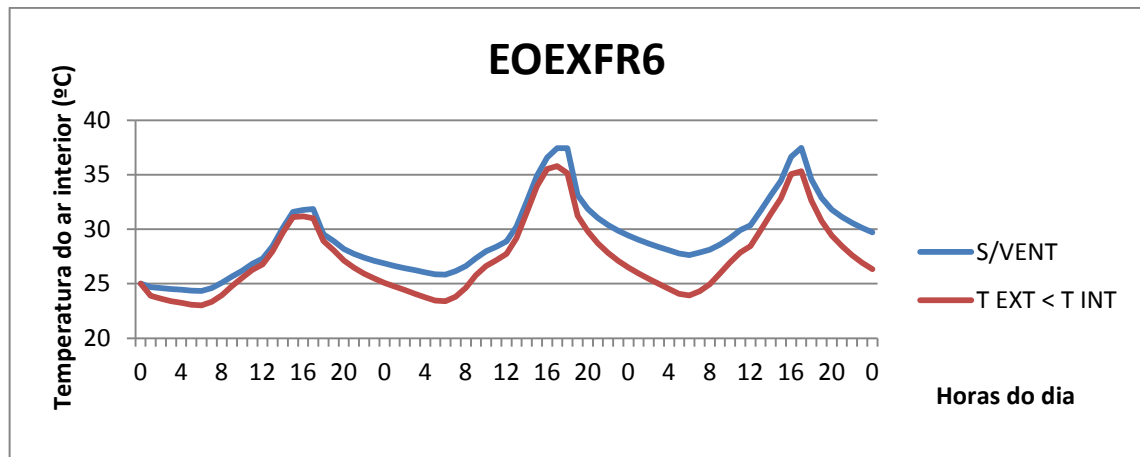


Gráfico 7.64: Évora, Oeste, Proteção Exterior, Inércia Fraca, Envidraçado 6m²